

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО

Завідувач кафедри

к.ф.-м.н., Ігор ЧИЧУРА

« _____ » _____ 2025 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної бакалаврської роботи на тему:

**СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ
ПРОДУКОВАНОЇ СОНЯЧНИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ**

Виконала:

Яцканич Євгенія Петрівна

(прізвище, ім'я, по-батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник:

проф. Іваницький В.П.

(вчене звання, ПІБ, посада)

_____ (підпис)

Ужгород – 2025

Ужгородський національний університет

Інженерно-технічний факультет
Кафедра приладобудування
Освітньо-кваліфікаційний рівень "Бакалавр"
Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
к.ф.-м.н., доц. Чичура І.І.

" " _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ
студентки Яцанич Євгенії Петрівни
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема КБР «Система автоматичного обліку електроенергії продукуюваної сонячними електростанціями»

та керівник роботи, Іваницький Валентин Петрович, к.ф.-м.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені Розпорядженням № _____ по кафедрі приладобудування від " " _____ року.

2. Строк подання студенткою роботи на кафедру: "16" червня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: об'єктом дослідження є система автоматичного обліку електроенергії продукуюваної сонячними електростанціями.

Основні дані:

- тип електростанції: мережева СЕС;
- точка приєднання: трансформаторна підстанція 10/0,4 кВ;
- напруга приєднання: 0,4 кВ;
- лічильник: трансформаторного включення, з інтерфейсом RS-485;
- передача даних: GSM-модем;
- контролер: MCL 5.10 або аналог
- параметри обліку: активна та реактивна енергія, в обох напрямках
- нормативна база: ДБН В.2.5-23:2010, ДСТУ EN 62053-22, ДСТУ EN 50470-1, Закон України «Про ринок електричної енергії».

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): основні відомості про СЕС, що таке АСКОЕ , розробка концепції проектування систем автоматизованого обліку електроенергії, вибір технічних компонентів системи, програмування системи.

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

- структурна схема (1 аркуш А3);
- Схема підключення вимірювальних ланцюгів (1 аркуш А3);
- Схема розташування приладів обліку (1 аркуш А3);
- Блок-схема алгоритму роботи СЕС.

6. Дата видачі завдання: 01.03.2025 року.

Студентка

_____/_____/_____
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи

_____/_____/_____
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної бакалаврської роботи складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та додатків до роботи.

Загальний обсяг пояснювальної записки складається з: 68 сторінок, 13 рисунків, 4 таблиць, 4 схем, 17 джерел посилань.

Ключові слова: СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, АВТОМАТИЗОВАНИЙ ОБЛІК ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ЛІЧИЛЬНИК ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.

Об'єкт дослідження – мережева СЕС, її загальна будова, принцип роботи.

Мета роботи – зробити короткий аналіз інформації та розробка технічного рішення системи автоматичного обліку електроенергії, що виробляється сонячною електростанцією, з урахуванням нормативних вимог до комерційного обліку, вимірювального обладнання, передавання та збереження даних, а також інтеграції в загальну енергетичну систему.

Методи дослідження – пошук інформації та відповідних джерел, упорядкування зібраних матеріалів, розробка проектних документів.

ABSTRACT

The explanatory note of the bachelor's qualification thesis consists of an introduction, 6 chapters, conclusions, a list of references, and appendices.

The total volume of the explanatory note includes: 68 pages, 13 figures, 4 tables, 4 diagrams, 17 reference sources.

Keywords: SOLAR POWER PLANT, AUTOMATED ELECTRICITY METERING, ELECTRICITY METER.

Object of research – a grid-connected solar power plant, its general structure and operating principle.

Purpose of the thesis – to conduct a brief analysis of available information and to develop a technical solution for an automated electricity metering system that accounts for the electricity generated by a solar power plant, in compliance with the regulatory requirements for commercial metering, measuring equipment, data transmission and storage, and integration into the general power system.

Research methods – information retrieval and source analysis, systematization of collected materials.

The thesis organizes and presents information about the automated electricity metering system: its structure, components, methods of data collection, processing, and transmission.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО СОНЯЧНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	11
1.1 Загальна характеристика сонячних електростанцій	11
1.2 Сонячні панелі та принцип їх функціонування.....	14
1.3 Основи обліку електроенергії.....	18
2 ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ.....	20
2.1 Що таке АСКОЕ та його структура.....	20
2.2 Режими функціонування АСКОЕ	21
2.3 Функції АСКОЕ ЕОВ	23
3 РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНО-ГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	25
3.1 Основні принципи створення системи обліку електроенергії.....	25
3.2 Вибір типу структури проектованої автоматичної системи комерційного обліку електроенергії	29
4 ВИБІР МЕТИ РОБОТИ ТА РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ..	37
4.1 Мета та завдання розробки системи автоматичного моніторингу та обліку електропостачання.....	37
4.2 Розробка структурної схеми системи.....	38
5 ВИБІР ТЕХНІЧНИХ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ ТА ОПИС ЇХ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ І ХАРАКТЕРИСТИК.....	40
5.1 Лічильник електроенергії.....	40
5.2 Контролер.....	44
5.3 GSM-модем.....	46
5.4 Трансформатор струму.....	48
5.5 Центральний та резервний сервери АСКОЕ.....	50

						КБР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Яцканич Є.П.			Система автоматичного обліку електроенергії Пояснювальна записка	У	6	68
Перевірив		Іваницький В.П.				УжНУ, ІТФ, 4 курс, денна форма		
Г. контр.								
Контр.								
Затвердив								

5.6 Інтерфейс RS-485.....	52
5.7 Інвентор.....	54
6 РОЗРОБКА МОНТАЖНОЇ СХЕМИ ТА НАЛАШТУВАННЯ СИСТЕМИ.....	56
6.1 Алгоритм роботи СЕС.....	56
6.2 Схема розташування приладів обліку електричної енергії.....	57
6.3 Схема підключення вимірювальних ланцюгів.....	59
ВИСНОВКИ.....	61
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	62
ДОДАТКИ.....	64
Додаток А.....	65
Додаток Б.....	66
Додаток В.....	67
Додаток Г.....	68

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСКОЕ – автоматизована система комерційного обліку електроенергії;
БД – база даних;
ВДЕ – відновлюваних джерел енергії;
ГК – генеруюча компанія;
ЕС – електроенергетична система;
ІВК – імпульсні вимірювальні канали;
КО – комерційний облік;
ЛЧ – лічильник;
ОЕС – об'єднана енергетична система;
ПБД – первинна база даних;
ПЗД – пристрій збору даних;
ПЗПД – прилади збору та підготовки даних;
ПО – пристрій обліку;
ПП – пристрій передачі даних;
ППРЕ – поточний параметр режиму електроспоживання;
ПРТ – постачальник за регульованим тарифом;
СЕС – сонячні електростанції;
СП – сонячні панелі;
ТН – трансформатор напруги;
ТС – трансформатори струму;
ТП – трансформаторна підстанція;
ЦВК – цифрові вимірювальні канали;
ЦУЗД – центральне устаткування збору даних;
GSM (Global System for Mobile Communications) – глобальна система мобільного зв'язку, стандарт цифрового мобільного зв'язку другого покоління (2G), що забезпечує передачу голосових викликів, SMS та базових даних.

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

GPRS (General Packet Radio Service) – служба пакетної радіопередачі загального користування, технологія для передачі даних через мережу GSM з використанням пакетної комутації, що дозволяє постійне з'єднання з Інтернетом.

RS232 – стандарт послідовного інтерфейсу для передачі даних між пристроями на короткі відстані.

RS485 – стандарт інтерфейсу для багатоточкової послідовної передачі даних, що дозволяє підключення кількох пристроїв до однієї лінії зв'язку.

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

ВСТУП

У сучасних умовах енергетична галузь переживає інтенсивний розвиток, спрямований на впровадження відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Сонячні електростанції (СЕС) займають одне з провідних місць серед ВДЕ завдяки своїй екологічності, доступності сонячної енергії та простоті встановлення. Однак ефективне використання енергії, виробленої СЕС, потребує точного обліку та моніторингу. Саме тому розробка та впровадження систем автоматичного обліку електроенергії (САЕ) є актуальним завданням для підвищення ефективності роботи СЕС, зменшення втрат і забезпечення стабільності енергетичних мереж.

Зростання кількості приватних та промислових сонячних електростанцій ставить перед енергетичними компаніями та операторами мереж нові виклики. Важливою умовою інтеграції сонячної енергії в загальну енергосистему є точний контроль за кількістю виробленої, спожитої та переданої електроенергії. Системи автоматичного обліку дозволяють забезпечити цей контроль у реальному часі, що сприяє підвищенню енергоефективності та зниженню витрат. Особливо цікавими на даний час є комп'ютерно-інтегровані системи керування та управління такими технічними та організаційними процесами. Тому обрана тема досліджень даної кваліфікаційної роботи є досить актуальною і практично важливою.

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО СОНЯЧНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

1.1 Загальна характеристика сонячних електростанцій

Сонячні електростанції (СЕС) – це енергетичні установки, що перетворюють сонячну енергію у постійний або змінний електричний струм. Основним елементом СЕС є фотоелектричні сонячні панелі (СП), які складаються з напівпровідникових матеріалів (найчастіше кремнію). Під дією сонячного світла в цих матеріалах відбувається генерація вільних електронів, які створюють електричний струм.

Сонячні електростанції поділяються на такі основні типи:

- автономні;
- мережеві;
- гібридні.

Автономні СЕС, загальна схема яких зображена на рис.1.1, працюють незалежно від загальнодержавної електричної мережі і часто використовуються з акумуляторами для накопичення енергії. Автономна сонячна система встановлюється для забезпечення потреб будинку в електроенергії. Проектується і прораховується кожна станція індивідуально, адже на комплектацію впливає багато факторів (розташування, потужності енергоспоживання і т. д.). Такі системи добре зарекомендували себе в забезпеченні як приватних будинків, так і господарських підприємств.

Установка автономної сонячної електростанції доцільна, якщо наявна хоча б одна із наведених нижче основних умов.

Перша умова – до будинку не підведена мережа централізованого енергопостачання, а підключення до мережі вимагає прокладки нових ліній та встановлення підстанції. Ця процедура є досить дорогою, адже доведеться оплатити підключення до мережі, налаштування низьковольтної лінії електропередач, а пізніше оплачувати рахунки за спожиту електроенергію.

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Друга умова – необхідна повна автономність і незалежність вашої системи від комунальних електромереж.

Незаперечні переваги автономної СЕС – екологічна безпека та безшумність системи. Однак окупність даної СЕС проходить набагато довше, ніж мережевої або гібридної (резервної) станції. При правильному ж проектуванні автономної СЕС можна на 100% забезпечити потреби свого будинку і бути енергетично незалежними від традиційної мережі електроенергії.

У автономних СЕС після перетворення сонячної енергії в електричну, остання використовується споживачами та накопичується в акумуляторних батареях. Постійний струм при цьому за допомогою інвертора трансформується у змінний зі стандартною напругою 220 В, який направляється в мережу споживачів будинку.

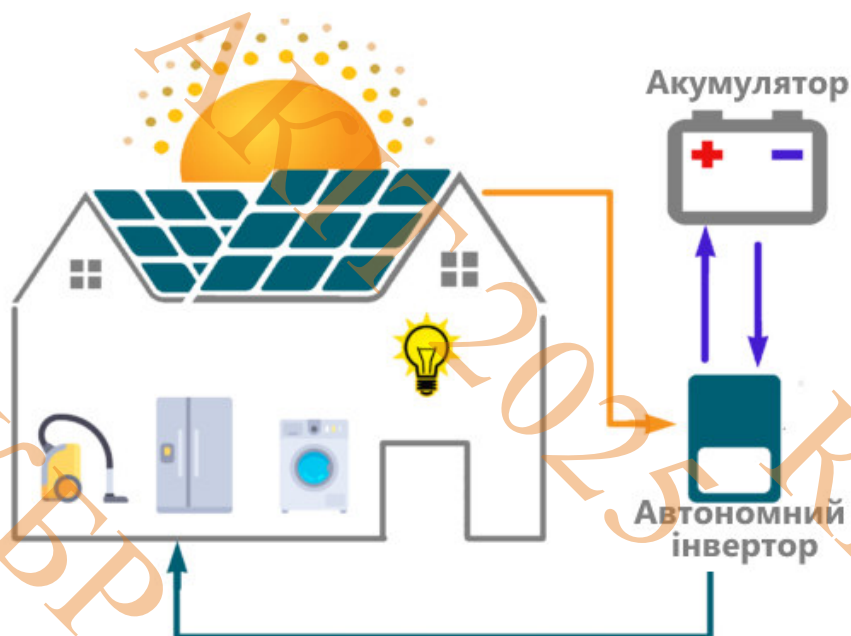


Рисунок 1.1 – Схема автономної СЕС [2]

Мережеві СЕС, схема яких зображена на рис. 1.2, підключені до загальної енергомережі змінного струму. У них вироблена електроенергія живить

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

споживачі, а її надлишки передаються в мережу. Мережева СЕС складається із СП, одного або декількох інверторів, приладу обліку переданої в загальну мережу енергії та різного комутаційного обладнання. Мережеві станції мають розміри від невеликих житлових до масштабних комерційних систем. Вони встановлюються як на дахах, так і на землі. На відміну від автономних електростанцій, мережеві СЕС рідко передбачають використання інтегрованих акумуляторів енергії.

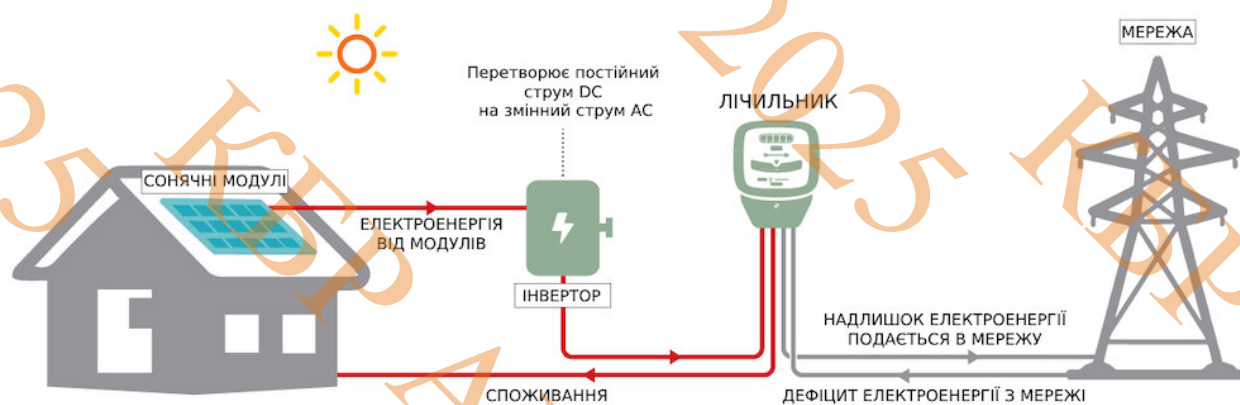


Рисунок 1.2 – Схема мережевих СЕС [3]

Гібридні СЕС будуються за загальною схемою, наведеною на рис.1.3. Вони поєднують мережеве та автономне використання електроенергії із застосування різних джерел. Наприклад, це може бути гібрид з фотоелектричними панелями та дизельним електрогенератором і акумулятором. Дизельні генератори використовуються для компенсації зазору між поточним навантаженням та фактичною генерованою потужністю фотоелектричної системи і акумуляторної батареї при тривалому відключенні загальної мережі змінного струму.

Гібридні електростанції є доцільними для використання, коли наявні тривалі проміжки часу з малою сонячною інсоляцією при можливих частих відключеннях загальнодержавної мережі. У таких випадках генерована потужність дизельних установок забезпечує надійне живлення відповідального обладнання.

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

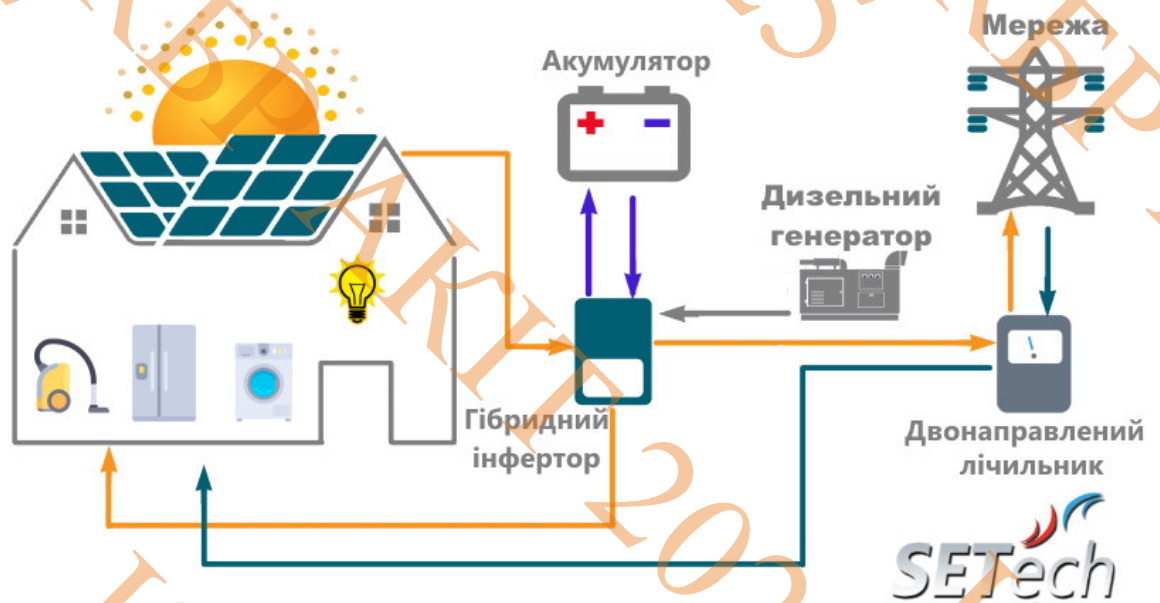


Рисунок 1.3 – Схема гібридної СЕС [4]

Вихідна потужність СЕС залежить від декількох основних факторів:

- інтенсивність сонячного випромінювання;
- кут нахилу СП;
- тривалість світлового дня;
- температурний режим роботи;
- ефективність інверторів та систем зберігання енергії;

1.2 Сонячні панелі та принцип їх функціонування

Загальна схема побудови СП наведена на рис.1.4. Відповідно до цієї схеми їх виготовляють з кількох основних компонентів:

- фотоелектричні елементи (сонячні комірки) – ключовий компонент, який перетворює сонячне світло на електрику;
- захисне загартоване скло з низьким вмістом заліза для максимального пропускання світла;
- герметизуючий матеріал з етиленвінілацетату (EVA) для захисту комірок від вологи та механічних пошкоджень;

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

- задня підкладка, зазвичай полімерний лист, який забезпечує електричну ізоляцію та захист від вологи;
- алюмінієва рама, яка забезпечує структурну міцність та полегшує монтаж;
- розподільна коробка, яка містить діоди та з'єднання для формування електричного кола;
- електричні провідники, зазвичай з міді або срібла, для з'єднання комірок.

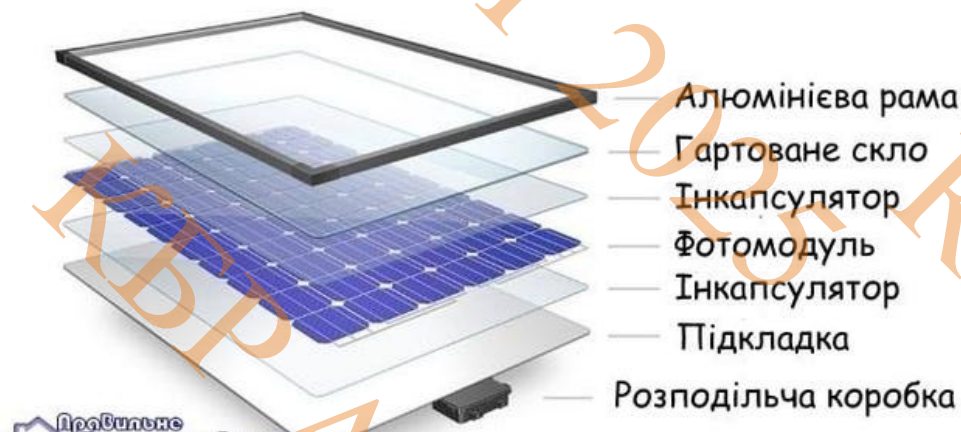


Рисунок 1.4 – Будова СП [5]

Найпоширеніші типи матеріалів для СП такі:

- монокристалічний кремній (висока ефективність, виготовлений з єдиного кристала);
- полікристалічний кремній (трохи нижча ефективність, дешевший у виробництві);
- інші матеріали (кадмій-телурид, аморфний кремній, мідь-індій-галій-селен або CIGS).

Новіші типи СП також можуть включати перовскіти, органічні фотоелектричні матеріали та інші інноваційні технології, які продовжують розвиватися для підвищення ефективності генерації електроенергії та зниження вартості СП.

Принцип роботи сонячних батарей ґрунтується на явищі фотоелектричного ефекту, який полягає у перетворенні світлової енергії на електричну за допомогою напівпровідникових матеріалів. Сонячний промінь потрапляє на поверхню p-n –

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

шару провідника та вибиває з нього електрони. Після цього дані електрони з певним зарядом переміщуються по електричному колу, живлячи електроспоживачів, підключених до даного кола.[5] Схема функціонування фотоелементів наведена на рис. 1.5.

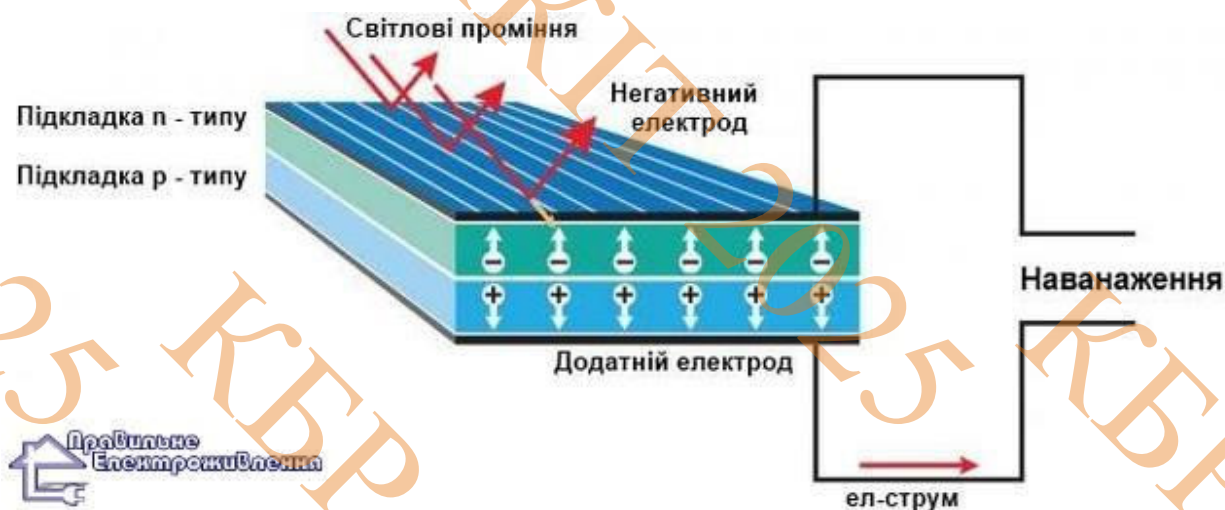


Рисунок 1.5 – Схема перетворення світлової енергії на електричну в фотоелементах [5]

При роботі фотоелементів відбуваються такі основні процеси:

1. Поглинання сонячного випромінювання – у результаті фотони світла передають свою енергію електронам атомів матеріалу, створюючи вільні електрони і дірки.
2. Генерація електричного струму – вільні електрони та дірки в напівпровіднику створюють контактну різницю потенціалів між двома пластинами напівпровідника. Під дією утвореної різниці потенціалу вільні електрони переміщуються по електричному колу.
3. Перетворення та розподіл електроенергії. Утворений електричний струм за допомогою проводів, підключених до СП, направляється для споживання в електричних пристроях, для передачі в електричну мережу або для зберігання в акумулюючих батареях.

Таким чином, сонячні батареї забезпечують екологічно чистий та ефективний спосіб отримання електричної енергії із енергії сонячного

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
						16

випромінювання, що робить їх важливим та перспективним джерелом альтернативної енергії.[1]

Переваги СП:

- екологічно чисте джерело енергії. СП не виділяють шкідливих викидів в атмосферу і не забруднюють довкілля, що робить їх одним із найбільш екологічно чистих джерел енергії.

- безкоштовне джерело енергії. Сонячна енергія безкоштовно надходить від сонця, і сонячні панелі дають змогу використовувати цей безкоштовний ресурс для генерації електрики.

- незалежність від енергомереж. Встановлення СП дозволяє бути незалежним від енергомереж та скоротити витрати на електроенергію.

- довговічність та надійність. Сучасні СП мають високу довговічність і надійність, і багато з них мають гарантійний термін служби від 25 до 30 років.

Недоліки СП:

- високі початкові витрати. Встановлення СП потребує значних інвестицій, включаючи вартість панелей, інверторів, батарей та іншого обладнання.

- залежність погодних умов. Ефективність СП залежить від кількості сонячного світла, їхня продуктивність може знижуватися в похмурі або дощові дні.

- потрібне місце для встановлення. Встановлення СП потребує достатнього простору на даху або на землі, що може бути обмеженням для деяких об'єктів.

- потребує регулярного обслуговування. СП вимагають регулярного технічного обслуговування та очищення від пилу, листя та інших забруднень для підтримки їхньої продуктивності.[1]

1.3 Основи обліку електроенергії

Процес обліку електроенергії полягає у фіксації кількості виробленої, спожитої та переданої електроенергії між різними компонентами енергосистеми. Для енергетичних систем, у склад яких входять СЕС цей процес ускладнюється

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

через нестабільний характер генерації енергії, який залежить від погодних умов, пори року та доби.

Сучасні система обліку електроенергії для СЕС повинна забезпечувати:

- точність вимірювань з малими похибками при фіксації виробленої енергії та переданої енергії;
- вимірювання у реальному часі з постійним моніторингом потужності та напруги;
- зберігання даних з накопиченням інформації для аналізу та прогнозування роботи СЕС;
- автоматизацію технічних і економічних розрахунків згенерованих і переданих енергетичних потоків;
- ефективну взаємодію з державною електричною мережею з контролем обсягів різних енергетичних потоків.

Для забезпечення виконання наведених вище вимог сучасні системи автоматичного обліку електроенергії включають такі основні компоненти:

- цифровий лічильник електроенергії;
- датчики напруги та струму, які контролюють напругу, силу струму та частоту електричної енергії в різних ділянках електричних кіл;
- інвертори – пристрої, які перетворюють постійний струм у змінний та забезпечують сумісність з загальною енергосистемою;
- контролери заряду акумуляторних батарей, які регулюють процес накопичення та віддачі енергії в акумуляторах;
- системи передачі даних, які забезпечують неперервний віддалений моніторинг та керування роботою СЕС через інтернет (наприклад, за допомогою Wi-Fi або GSM протоколів);
- програмне забезпечення, яке забезпечує візуалізацію та аналіз даних у реальному часі;
- контролери пуску та функціонування джерел резервного живлення, наприклад, дизельних генераторів та інше.

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

2 ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ

2.1 Що таке АСКОЕ та його структура

Автоматизована система комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) – це комплекс технічних засобів і програмного забезпечення, призначений для автоматизованого дистанційного збору, передачі, обробки, відображення та зберігання даних про облік електроенергії.

До основних функцій АСКОЕ входить:

- автоматичний збір даних про споживання електроенергії;
- дистанційний контроль параметрів електроспоживання;
- формування балансів електроенергії;
- аналіз енергетичних потоків;
- прогнозування змін генерації та електроспоживання;
- контроль якості електроенергії;
- інші актуальні функції.

Основу АСКОЕ становлять засоби первинного обліку – інтелектуальні (або «смарт») лічильники. Вони вимірюють активну та реактивну електроенергію, а також параметри електричної мережі, зокрема напругу, силу струму, частоту тощо. У високовольтних системах додатково застосовуються трансформатори струму та напруги, які дозволяють безпечно та точно знімати показники з мережі.

Зібрана інформація з лічильників надходить до пристроїв збору даних - концентраторів. Концентратори, у свою чергу, передають зібрані дані на сервери системи за допомогою телекомунікаційних каналів. Сучасні АСКОЕ підтримують широкий спектр технологій передачі даних – як дротових (Ethernet, оптоволоконний зв'язок), так і бездротових (GSM/3G/4G, Wi-Fi та ін.). Вибір типу зв'язку залежить від умов конкретного об'єкта, особливостей розташування обладнання та технічних вимог.

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Центральна частина системи – сервер збору та обробки даних – відповідає за збереження, обробку й аналіз інформації. Тут розміщується база даних, яка накопичує інформацію про обсяги споживання, часові графіки, аварійні ситуації, події, пов'язані з якістю електроенергії тощо. Обробка даних здійснюється за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, яке забезпечує формування звітів, аналітичних висновків, а також можливість виявлення несанкціонованого втручання або технічних втрат.

Для роботи з системою оператори або диспетчери використовують автоматизовані робочі місця (АРМ), веб-інтерфейси чи мобільні додатки, які дозволяють переглядати в реальному часі інформацію з лічильників, аналізувати графіки споживання, генерувати звітну документацію, отримувати сповіщення про порушення в роботі системи.

З метою забезпечення кібербезпеки в АСКОЕ застосовуються сучасні механізми захисту: шифрування даних під час передачі, автентифікація користувачів, резервне копіювання баз даних. Також передбачаються резервні джерела живлення (UPS), які гарантують безперебійну роботу системи навіть у випадку аварійного вимкнення електроенергії.

Таким чином, структура сучасної АСКОЕ включає апаратні засоби вимірювання, комунікаційні пристрої, серверне обладнання, програмно-аналітичні комплекси та інтерфейси для користувачів. Вона дозволяє здійснювати централізований контроль та облік електроенергії, підвищуючи енергоефективність і прозорість розрахунків між постачальниками та споживачами.

2.2 Режими функціонування АСКОЕ

Режим функціонування АСКОЕ ЕОВ здійснюється безперервно в реальному часі, крім випадків усунення несправностей та проведення ремонтних робіт.

Для ефективного виконання своїх функцій система працює в декількох режимах, кожен з яких має свої особливості та призначення.

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

1. Нормальний (основний) режим. У нормальному режимі АСКОЕ функціонує в штатному режимі без збоїв і забезпечує:

- періодичне зчитування показників лічильників;
- обробку та зберігання даних у базі даних;
- передачу даних на сервер енергопостачальної компанії або власника СЕС;
- формування звітності та балансу електроенергії;
- взаємодію з іншими інформаційними системами.

Цей режим є основним і характеризується максимальною автоматизацією процесів без необхідності втручання оператора.

2. Режим архівації та збереження даних. АСКОЕ має функціонал для збереження історичних даних за певний період часу. У цьому режимі відбувається:

- збереження профілів навантаження (добових, місячних, річних);
- архівація подій (збої живлення, зміна конфігурації лічильника тощо);
- резервне копіювання даних для подальшого аналізу або відновлення після збоїв.

Цей режим важливий для енергетичних аудитів та оптимізації генерації електроенергії на основі аналітики.

3. Режим онлайн-моніторингу. У режимі реального часу система дозволяє:

- отримувати актуальні показники потужності, напруги, струму тощо;
- відслідковувати стан генерації СЕС;
- виявляти аномалії або аварійні ситуації;
- оперативно реагувати на порушення у роботі обладнання.

Онлайн-моніторинг часто поєднується з візуалізацією даних через веб-інтерфейс або мобільний застосунок.

4. Аварійний (резервний) режим. Цей режим активується у випадку:

- втрати зв'язку з лічильниками;
- збоєм в роботі серверного обладнання;
- помилок у передачі або зберіганні даних.

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

У такому випадку АСКОЕ переходить у режим аварійного збереження локальних даних (на лічильниках або проміжному устаткуванні), а також може застосовувати альтернативні канали зв'язку (мобільний інтернет, резервні маршрутизатори тощо). Після усунення проблем система переходить у нормальний режим і виконує синхронізацію даних.

5. Режим обслуговування та конфігурації. Цей режим передбачає:

- оновлення програмного забезпечення лічильників та серверів;
- зміну налаштувань періодів опитування, тарифних планів;
- тестування системи на відповідність параметрам роботи;
- діагностику каналів зв'язку.

У режимі обслуговування можливе тимчасове зупинення окремих функцій, але критичні дані продовжують накопичуватися локально.

2.3 Функції АСКОЕ ЕОВ

Функції АСКОЕ ЕОВ здійснює:

- прийом даних комерційного обліку електроенергії, які надходять каналами зв'язку від багатофункціональних електронних лічильників електроенергії і завантаження їх до власної бази даних – БД АСКОЕ, з ознакою якості «Автоматичне введення»;
- ведення бази даних АСКОЕ ЕОВ;
- аналіз цілісності БД АСКОЕ ЕОВ, пошук наявності відсутніх даних, формування повторних запитів до приладів обліку електроенергії на одержання не отриманих даних;
- забезпечення регламентованого доступу до БД АСКОЕ ЕОВ;
- визначення обсягів не відпущеної електричної енергії;
- щодобово, за попередню розрахункову добу, збір погодинних даних комерційного обліку активної та реактивної електроенергії, а також півгодинних значення величин перетоків електричної енергії (30 хвилинні значення

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

усередненої потужності) відповідно, з періодом інтеграції 30 хвилин та інформації з журналу подій лічильників;

- щомісяця збір накопичувальних показів активної та реактивної електроенергії;

- зберігання значень параметрів обліку в БД лічильників з можливістю архівування інформації на зовнішньому носії (з глибиною архіву, що визначається загальною ємністю носіїв, які використовуються);

- автоматичне зчитування даних із лічильників за заданим інтервалом часу і створення копії первинних БД лічильників в СКБД АСКОЕ;

- первинну обробку (множення на розрахункові коефіцієнти, округлення, приведення до межі балансової належності тощо) і перевірку повноти та достовірності зібраних з лічильників облікових даних;

- формування півгодинних і годинних графіків виробітку, відпуску і споживання активної і реактивної електричної енергії;

- можливість визначення обсягів виробленої, відпущеної, переданої, спожитої, не відпущеної електричної енергії;

- забезпечення можливості зберігання в БД первинних даних з ПБД лічильника (актив/реактив) та розрахункових даних за обліковими періодами (доба, місяць, квартал, рік), починаючи з дискретності 30 хвилин і вище та інформації з журналу подій лічильників, протягом терміну позовної давності;

- забезпечення наявності позначок якості інформації (ручний чи автоматизований ввід даних тощо), які повинні формуватися, починаючи з рівня обліку і передаватися на вищі рівні;

- забезпечення резервного живлення лічильників електричної енергії.

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

3 АНАЛІЗ КОНЦЕПЦІЙ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

3.1 Основні принципи створення системи обліку електроенергії

Різні станції генерації електричної енергії об'єднані в єдину державну систему енергетичного ринку, який функціонує за строго встановленими законами. Одним із них є Правила комерційного обліку виробленої та спожитої електричної енергії Вони визначають той комплекс технічних та економічних вимог до організації комерційного обліку (КО) [6], які регулюють процеси формування і використання інформації в енергетичних системах та регулюють права і обов'язки різних учасників КО. Крім того, енергоринок також активно приймає участь у впровадженні різних інших документів та стандартів КО, вирішенні спірних питань, пов'язаних із виникненням помилок у системах комерційного обліку, а також забезпеченні, встановленні, перевірки та технічному обслуговуванні обладнання енергообліку [7].

Виконання даної кваліфікаційної роботи має враховувати умови функціонування енергетичної галузі в цілому, а також документи, які регламентують розробку та впровадження різних рівнів автоматизації процесу енергообліку.

Введення систем автоматизації має забезпечувати підвищення вимог стандартів щодо якості електричної енергії і підвищувати точність, надійність та цілісність процесу енергообліку. Наведені параметри, у першу чергу, залежать від технічних засобів інформаційно-вимірювальної техніки, які застосовуються в системах обліку, а також від базових принципів їхнього використання. Таким чином, вибираючи технічні засоби для проектованої у кваліфікаційній роботі системи, будемо керуватися такими базовими критеріями:

- точність представлення первинної вимірювальної інформації;
- правильність подання цих даних до інформаційних систем;

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

- достовірність представлення вимірювальної інформації;
- синхронність одержання і представлення вимірювальної інформації в різних елементах системи обліку;
- надійність перетворення вимірювальної інформації;
- ефективність збереження інформації у відповідних базах даних.

Слід зазначити, що процес автоматизації обліку може варіюватися від простої автоматичної реєстрації даних з лічильників електроенергії протягом усього періоду обліку до повністю автоматизованого процесу реєстрації з повним їх дублюванням і обов'язковою верифікацією, у залежності від складності досліджуваного об'єкта. Метою своєї кваліфікаційної роботи поставимо створення система автоматичного обліку, яка;

- розроблена згідно з сучасними принципами організації вимірювань;
- працює в реальному часі;
- отримує дані від сучасних цифрових лічильників електроенергії;
- автоматично обробляє вимірювальні дані;
- має багаторівневу схему організації процесу обліку;
- синхронізовано передає оброблені дані на системи обробки інформації регіональних постачальників електричної енергії;
- забезпечує оперативне інформування всіх учасників енергоринку необхідною інформацією;
- відповідає сучасним вимогам щодо якості систем обліку та їх взаємозв'язку з іншими елементами енергоринку.

Приклад загальної схеми побудови таких сучасних систем в умовах українського енергоринку наведено на рис. 3.1.

При створенні системи обліку врахуємо, що використання різних технічних засобів, наприклад, трансформаторів напруги та лічильників електроенергії, є оптимальним, коли їхні технічні та економічні параметри рівні або досить близькі. Зокрема це стосується і похибок вимірювань технічних засобів. Це обумовлено тим, що значне підвищення точності одного з них, як правило, призводить лише до невеликого зниження загальної похибки вимірювальної

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
					25	

схеми. Наприклад, порівняно зі сценарієм, де похибки вимірювань трансформаторами струму і напруги співрозмірні з похибками лічильника, збільшення точності лічильника у 2,5 рази призводить до зменшення загальної похибки вимірювальної системи лише в 1.2 рази.

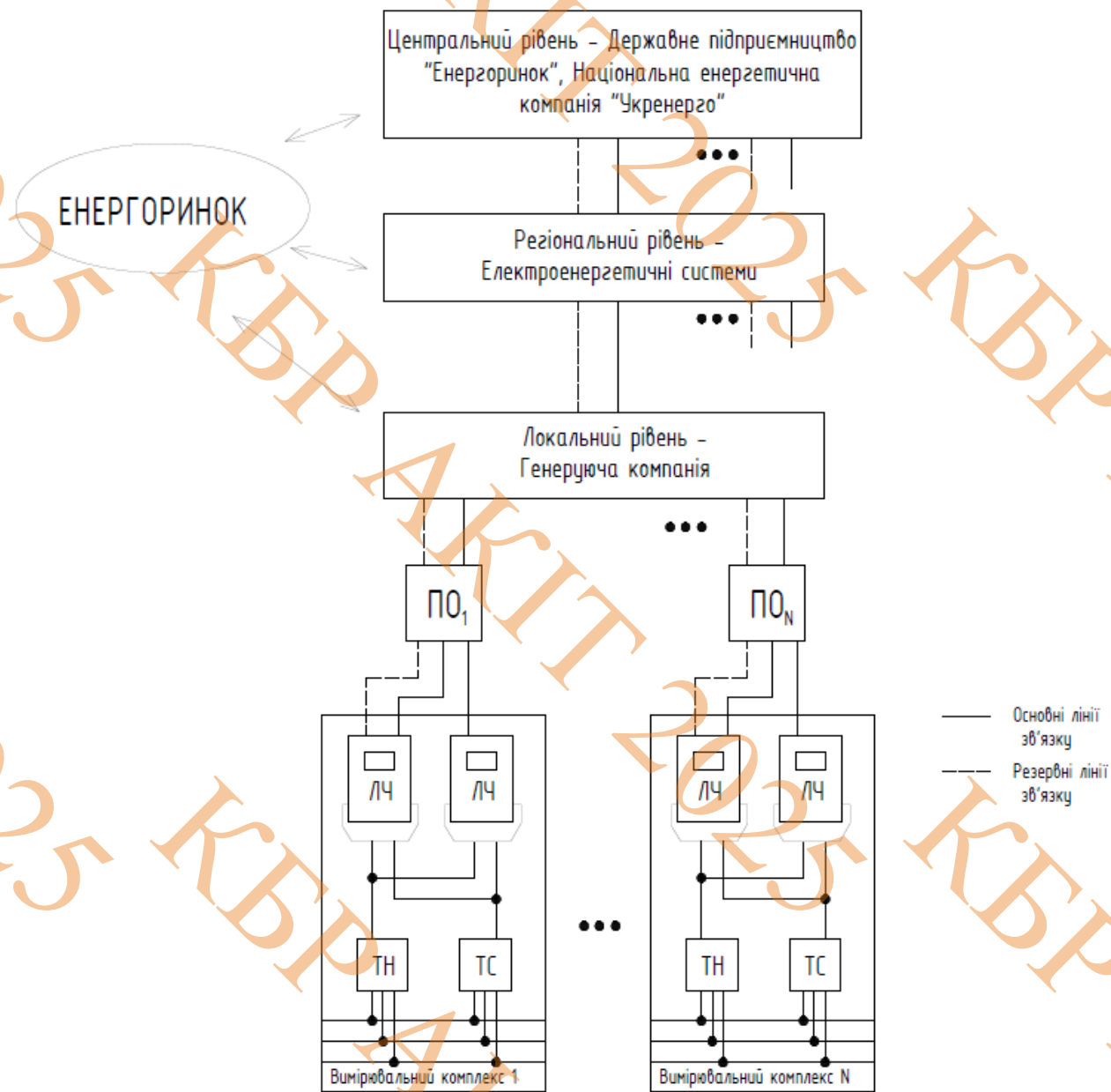


Рисунок 3.1 – Багаторівнева схема організації збору та обробки інформації систем енергообліку

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
					26	

У таблиці 3.1 наведемо похибки вимірювань сучасних приладів, які визначені з урахуванням наявних технічних можливостей і рекомендовані як припустимі для системи обліку електроенергії.

Таблиця 3.1 – Допустимі похибки вимірювань приладів обліку електроенергії при різних потужностях мережі.

Номер рівня системи обліку	Потужність об'єктів контролю S , МВА	Допустима похибка вимірювань, %
1	$S \geq 1000$	0.3 (0.7**)
2	$300 \leq S < 1000$	0.4 (0.7**)
3	$100 \leq S < 300$	0,7
4	$50 \leq S < 100$	1,2
5	$10 \leq S < 50$	1,8
6	$3 \leq S < 10$	2,5
7	$0,75 \leq S < 3$	4,6
8	$S < 0,75$	7.3; 3.2***

Примітки до таблиці 3.1.

** На оптовому ринку прийнято вважати базовим рівень 3, а на роздрібно-ному – рівень 7.

** Указані в дужках значення припустимих похибок вимірювань для рівнів 1 і 2 враховуються під час перехідного періоду формування системи обліку на енергоринку.

*** Рівень 8 відповідає безпосередньому підключення лічильників у коло споживачів.

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Таким чином, для підвищення точності системи обліку електроенергії у своїй роботі будемо використовувати компоненти, які передбачають однакові похибки вимірювань на всіх рівнях системи. Оцінка загальної точності обліку проводиться відповідно з математичним апаратом, наведеним нижче. Під час впровадження заходів для підвищення точності вимірювань системи обліку електроенергії на професійному рівні рекомендується використовувати спеціальні комп'ютерні програми. Вони враховують комплекс різних параметрів й характеристик, як технічних, так і економічних та організаційних.

Особливо відмітимо, що під час комплектування вимірювальної системи такими приладами як трансформатори струму, трансформатори напруги та лічильники обліку, слід керуватися оптимальним поєднанням технічних та економічних параметрів використаних засобів обліку. [15]

3.2 Вибір типу структури проектованої автоматичної системи комерційного обліку електроенергії

АСКОЕ формуються на об'єктах автоматизації, які включають у собі сучасні вимірювальні комплекси та цифрові пристрої обліку, сполучені між собою відповідними інформаційними лініями та каналами зв'язку. Відповідно до отриманої інформації від вимірювальних комплексів, програмне забезпечення системи обліку проводить обчислення даних комерційного обліку, які потім зберігаються в базах даних і надаються для доступу через цифрові комунікаційні інтерфейси. У певних умовах частина даних обліку може бути обчислена та збережена на рівні самих вимірювальних комплексів.

Вимірювальний комплекс разом із лінією (каналом) зв'язку, яка з'єднує його з відповідним входом інформаційного апаратного забезпечення утворюють вимірювальний канал АСКОВЕ об'єкту обліку. Він здійснює зчитування (прийом), обчислення та передачу даних. Зберігання та відображення даних комерційного обліку електроенергії, пов'язаних з відповідним вимірювальним комплексом, здійснює апаратна інформаційна частина.

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

На сьогодні виділяють два типи систем обліку електроенергії в залежності від способу передачі інформації до інформаційної частини: імпульсні вимірювальні канали (ІВК) та цифрові вимірювальні канали (ЦВК) Схему АСКОЕ на основі ІВК наведено на рисунку 3.2. У таких системах лічильники електроенергії вимірюють активну електричну енергію та/або інтегровану в часі реактивну потужність у прямому та/або у зворотному напрямках.

Зазвичай, у таких пристроях компоненти передачі даних інтегровані в лічильники і перетворюють кількість активної електроенергії (або інтегрованої в часі реактивної потужності), виміряної опорним лічильником, у кількість імпульсів або цифровий імпульсний код. Цей код передається до апаратної інформаційної частини через дротові лінії зв'язку. На сьогодні використовують різні схеми з'єднання вимірювального та інформаційного обладнання систем обліку:

- двопровідна;
- спільний позитивний полюс;
- спільний негативний полюс;
- матрична схема.

З метою зменшення кількості кабелів для передачі даних у деяких випадках в ІВК використовують пристрої збору даних.

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

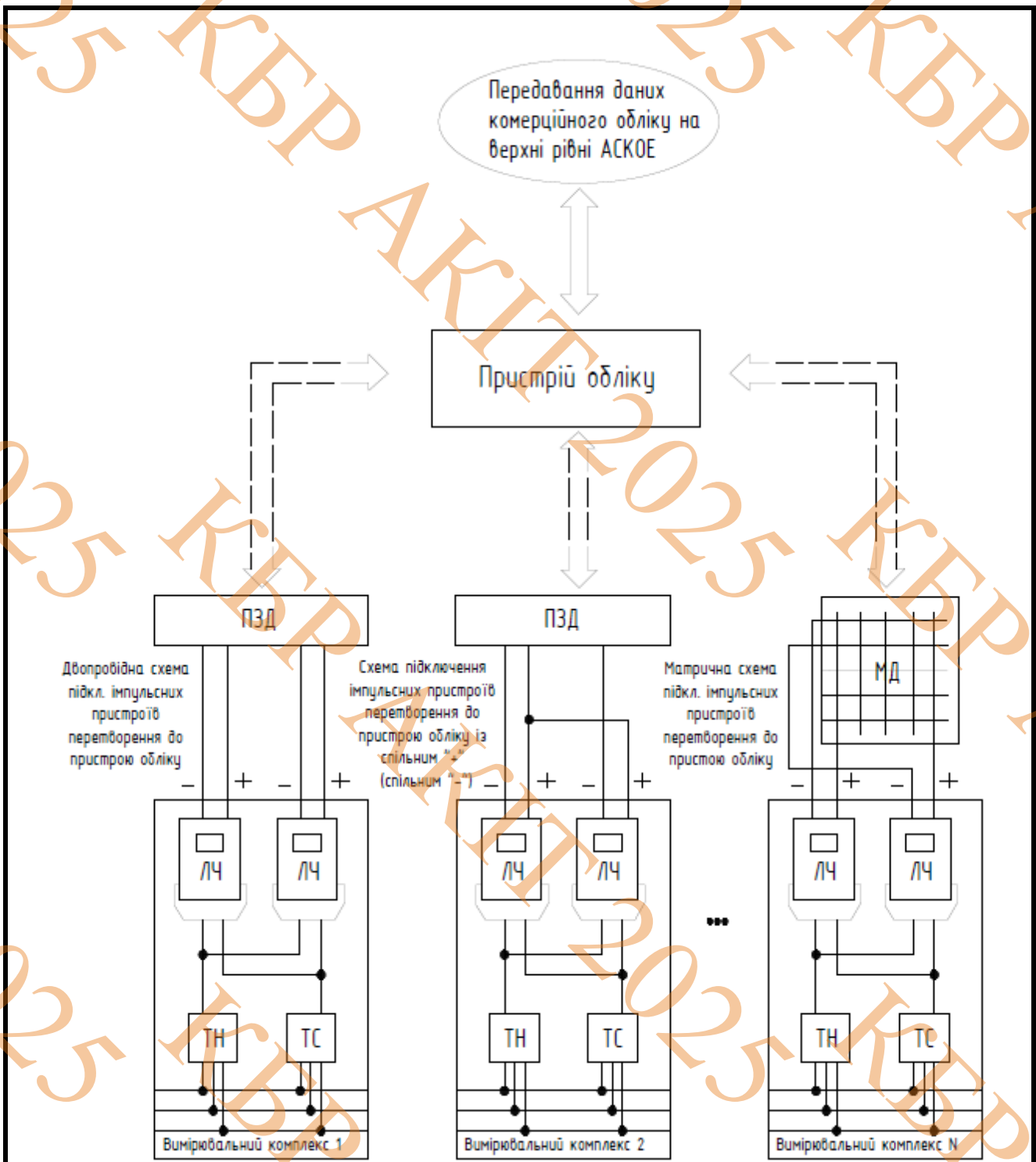


Рисунок 3.2 – Схема системи збору та обробки інформації на базі ІВК

На основі кількості та швидкості імпульсів, які надходять до інформаційного обладнання, за допомогою інтегрованого програмного забезпечення обчислюються дані комерційного обліку. Вони зберігаються в базі

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
					30	

даних, доступ до яких надається через відповідні цифрові комунікаційні інтерфейси. Багато вітчизняних та іноземних систем обліку електроенергії ґрунтуються на цьому принципі. Важливими перевагами таких систем є:

- висока швидкість обчислень та передачі інформації;
- можливість використання різних типів лічильників;
- низька вартість.

Однак, важливим недоліком є необхідність передачі необробленої інформації у вигляді імпульсів через лінії зв'язку, що може призвести до втрати даних у випадку у зв'язку з низькою завадостійкістю таких ліній. Також для таких систем характерна неможливість визначення миттєвих значень параметрів електричної мережі через інтегровану в часі інформацію, яка надходить до інформаційної апаратної частини. Це обмежує застосування даних систем для контролю різних параметрів мережі.[8]

АСКОЕ другого типу – з ЦВК мають загальну структуру, наведену на рисунку 3.3.

Такі системи призначені для роботи з багатофункціональними електронними цифровими лічильниками (так звані Smart-лічильники). Такі системи забезпечують зчитування даних з лічильників та передавання цих даних за допомогою каналів зв'язку на верхні рівні АСКОЕ. Тому для опису структури таких систем використовують термін «пристрій збирання та передавання даних» замість терміну «пристрій обліку».

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

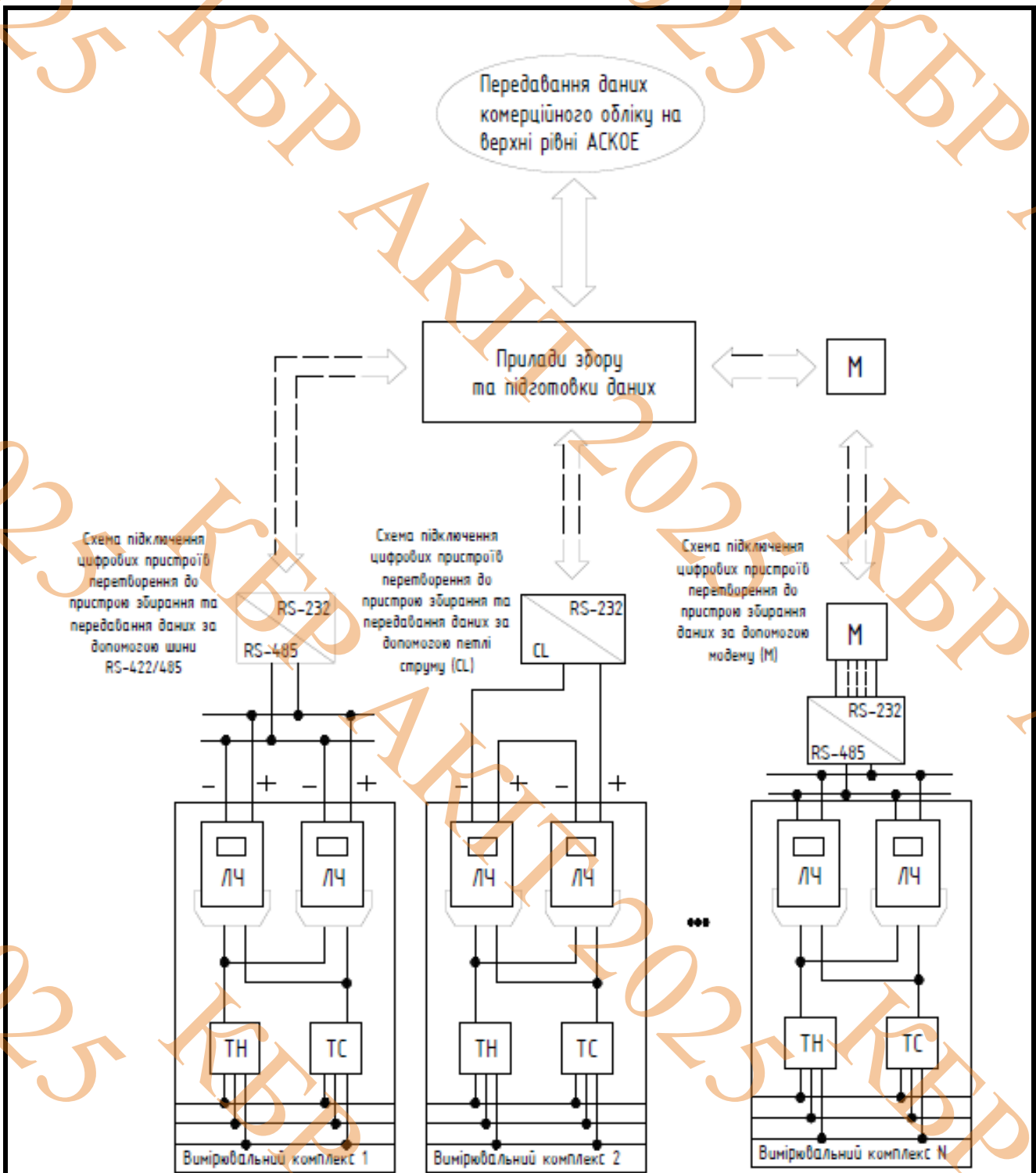


Рисунок 3.3 – Схема устрою АСКОЕ на базі ЦВК

Системи з ЦВК забезпечують агрегацію даних та визначення додаткових параметрів обліку, наприклад, прогнозованих величин електричної потужності, і можуть зберігати дані комерційного обліку у власній базі даних. Ці системи

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

відрізняються високою надійністю, однак мають значно вищу вартість через використання багатофункціональних цифрових електронних лічильників електроенергії із відповідними модемами. Важливо відзначити, що, незважаючи на високі ціни, такі АСКОЕ стають популярними в Україні.

При розробці концепції проектування локальної АСКОЕ особливу увагу будемо приділяти вибору технічних та інформаційних як апаратних так і програмних засобів обліку електроенергії. Базовими елементами тут виступають лічильники, пристрої збирання і передачі даних, пристрої організації бази даних, інтерфейси зв'язку комп'ютер-оператор та програмне забезпечення. При виборі наведених елементів слід враховувати їхні основні технічні параметри і характеристики. До них ми віднесемо:

- параметри приєднання до електричної мережі – фазність (однофазний або трифазний), номінальна робоча напруга U_n , номінальний робочий струм I_n , схема приєднання тощо; [8]

- кліматичні умови застосування – використання в середині чи поза приміщенням, в умовах низьких температур, підвищеної вологості повітря тощо;

- види вимірюваних параметрів – активна потужність, реактивна потужність, текучі робочі параметри мережі тощо;

- можливість обліку в обох напрямках як інтегрованої активної, так і реактивної потужності;

- клас точності у вигляді метрологічних характеристик абсолютної або відносної похибок вимірювань та обліку;

- кількість тарифних зон для забезпечення розрахунків вартості електроенергії за різними тарифами в різні періоди часу. [9]

Крім цього, у своєму проектуванні будемо оцінювати й інші, більш якісні характеристики апаратних та інформаційних засобів, які безпосередньо впливають на ефективність функціонування АСКОЕ. Серед цих виділимо основні характеристики:

- функціональність, яка визначається кількістю параметрів обліку, кількістю реєстрів пам'яті, можливістю фіксації показів лічильника в різні моменти часу та

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

протягом різних часових інтервалів, зручністю доступу до оперативних даних, зручністю налагодження;

- безпека первинних даних обліку, яка досягається забезпеченням цілісності даних, їх захистом від руйнування і несанкціонованого доступу, введенням обмежень щодо спотворення облікових даних;

- глибина зберігання даних, яка має відповідати загальним вимогам ринку електроенергії – мінімальна величина повинна охоплювати збереження та аналіз даних за поточний і попередні розрахункові періоди;

- період інтеграції графіка навантаження електричної мережі – вибір цього параметра впливає на достовірність інформації про характер навантаження і тому повинен забезпечити нормовану глибину зберігання даних;

- наявність надійної і доступної технічної документації щодо інсталяції, налаштування, експлуатації, параметрування, коригування часів та рівнів доступу до апаратних засобів і бази даних АСКОЕ.

Особливо важлива роль у проектуванні АСКОЕ має приділятися розробці ефективних і якісних комунікаційних портів. Вони повинні забезпечувати надійний доступ до апаратних елементів та бази даних відповідних користувачів. Значно зростає роль цього принципу у випадках, коли АСКОЕ обслуговує кілька суб'єктів енергетичного ринку. Тут важливо забезпечити рівноправний, оперативний, дистанційний доступ для всіх зацікавлених сторін відповідно з їхніми пріоритетами та правилами функціонування лібералізованого ринку електричної енергії.

Значна роль належить комунікаційним можливостям апаратних засобів АСКОЕ: Вони визначаються наявністю у використовуваних засобах тих або інших комунікаційних модулів. На сьогодні основними із них є модулі з протоколами RS485, CL (current loop), GSM/GPRS, Ethernet, RS232 тощо. Вибір оптимального комунікаційного модуля та протоколу його функціонування суттєво полегшує налаштування АСКОЕ та доступ до її бази даних. При цьому технічні характеристики таких модулів повинні відповідати конкретним умовам їх використання в різних апаратних пристроях АСКОЕ.

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Параметри налаштування комунікаційних портів слід визначати згідно з технічними рекомендаціями електропередавальної компанії. При цьому основну увагу потрібно звертати увагу на технічну можливість дистанційного доступу до модулів передачі даних та до бази даних з боку всіх зацікавлених сторін відповідно з їх пріоритетом. Зокрема, стандарт комунікаційного протоколу лічильників електроенергії є базовим для вибору відповідного протоколу інформаційного обміну між компонентами АСКОЕ.

Важливо також мати на увазі, що вибір для АСКОЕ вимірювальних апаратних засобів з більшим міжповірочним інтервалом сприяє зменшенню операційних витрат на обслуговування системи і ефективному її функціонуванню в цілому. Одночасно слід враховувати вимоги метрологічних стандартів та нормативів, які стосуються вибраних вимірювальних засобів, щоб уникнути майбутніх проблем у процесі впровадження АСКОЕ.

Власне споживання електроенергії вимірювальними апаратними засобами також є досить важливим параметром щодо їх застосування в АСКОЕ лічильників різних типів. Наприклад, орієнтовно вважається, що для лічильників з внутрішнім джерелом живлення значення потужності власного споживання на має перевищувати 2 Вт для активної потужності і 10 ВА реактивної потужності. Для лічильників із зовнішнім джерелом живлення ці параметри не мають перевищувати величини 0,5 Вт і 0,5 ВА відповідно.

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

4 ВИБІР МЕТИ РОБОТИ ТА РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ

4.1 Мета та завдання розробки системи автоматичного моніторингу та обліку електропостачання

Базовим принципом ефективного управління та контролю електропостачання є точне визначення обсягу спожитої та постаченої енергії на різних організаційних та технічних рівнях. Відповідно до даного принципу за мету кваліфікаційної роботи поставимо розробку АСКОЕ на сучасних цифрових пристроях вимірювання параметрів електричного струму, обліку активної і реактивної потужності та дистанційної передачі цифрових даних до бази даних відповідної електропостачальної компанії.

Досягнення поставленої мети вимагає вирішення кількох основних завдань:

- забезпечення точних достовірних вимірів різних параметрів переданої та використаної електричної енергії;
- створення надійного апаратно-інформаційного цифрового каналу передачі інформації про виконані вимірювання до відповідної бази даних;
- врахування реальних обсягів постачання та споживання електричної енергії, що важливо для справедливого прозорого фінансового обліку між постачальниками енергоресурсів та споживачами;
- мінімізація виробничих та невиробничих витрат при впровадженні АСКОЕ та при її обслуговуванні;
- спрощення процесу діагностики апаратної частини та повноти інформаційних даних.

При розв'язанні поставлених завдань особливу увагу планується звернути на комплексний комерційний та технічний підхід до проектування АСКОЕ, який включає точний облік і контроль енергоспоживання, фіксацію відхилень параметрів електричної енергії, можливість прогнозування значень енергообліку,

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

автоматичне управління енергоспоживанням, мінімізацію витрат на технічні та енергетичні ресурси, оптимізацію процесів обслуговування і забезпечення надійного функціонування АСКОЕ.

4.2 Розробка структурної схеми системи

На рисунку зображено структурну схему АСКОЕ (див. додаток А), яка є важливим елементом в забезпеченні прозорого, надійного та безперервного обліку споживаної та генерованої електроенергії. Система побудована на багаторівневій архітектурі, а саме:

- Центральний рівень;
- Канали передачі даних;
- Польовий рівень.

У верхній частині схеми зображено центральний рівень управління та обробки даних. Основним елементом цього рівня є сервер АСКОЕ ПрАТ "Закарпаттяобленерго", який відповідає за збір, зберігання, аналіз та передачу інформації від підпорядкованих польових пристроїв. Цей сервер має резервного дублера, який автоматично бере на себе функціонування у разі виходу з ладу основного обладнання, що забезпечує безперервність роботи системи. Для зв'язку з віддаленими об'єктами використовується GSM-модем Cinterion, підключений через інтерфейс RS232, що дозволяє передавати дані каналами мобільного зв'язку (GPRS/GSM).

Адміністратор комерційного обліку (АКОЕ) інтегрований у цю структуру як відповідальна особа або система за управління та адміністрування бази облікових даних. У своїй роботі він використовує систему Market Management System – програмне середовище, призначене для підтримки функціонування ринку електроенергії, ведення статистики та забезпечення взаємодії між учасниками енергетичного ринку.

Особливу роль у функціонуванні системи відіграє зовнішній канал передачі інформації до АТ "НЕК "Укренерго" ЗАХІДНА ЕС", який забезпечує

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

централізований збір облікових даних в межах всієї енергосистеми України через мережу Internet. Таким чином, інформація, зібрана з місцевих лічильників, стає доступною на національному рівні.

Нижня частина схеми ілюструє структуру польового рівня – трансформаторної підстанції ТП-35/0,4 кВ. Тут розміщені вузли збору даних, а саме шафа АСКОЕ, яка об'єднує всі засоби вимірювання та контролю. Основу технічного оснащення становлять програмовані контролери типу MCL 5.10 (UZ1/ UZ2), які здійснюють зчитування показників з лічильників та передають ці дані до центрального серверу через мережі GSM. Для підвищення надійності передбачено як основний, так і резервний канали зв'язку, що працюють на базі GPRS.

У складі шафи передбачено підключення кількох електролічильників типу SL7000 з класом точності 0,55, що забезпечує високоточний облік спожитої електроенергії. Лічильник електроенергії SL 7000 Itron. Лічильники встановлені на двох незалежних вводах трансформаторної підстанції – ввід А та ввід Б, що дозволяє окремо враховувати електроенергію для кожного технологічного напрямку. Передача інформації між лічильниками та контролерами здійснюється через інтерфейс RS485. Усі елементи живляться від стандартної побутової мережі з напругою 220 В.

Таким чином, розглянута схема демонструє ефективну інтеграцію програмно-апаратних засобів, які забезпечують повноцінну функціональність системи АСКОЕ: точний облік, надійний зв'язок, резервування та централізоване управління. Така структура є базою для формування сучасної енергетичної інфраструктури, орієнтованої на прозорість, ефективність і цифровізацію облікових процесів.

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

5 ВИБІР ТЕХНІЧНИХ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ ТА ОПИС ЇХ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ І ХАРАКТЕРИСТИК

5.1 Лічильник електроенергії

Лічильник електроенергії Itron (Actaris) SL7000, показаний на рис. 5.1 – це високоточний трифазний багатотарифний прилад, призначений для комерційного, промислового та підстанційного обліку електроенергії. Він підтримує широкий спектр функцій для вимірювання, моніторингу та передачі даних, що робить його популярним вибором для систем АСКОЕ.



Рисунок 5.1 – Лічильник електроенергії SL 7000 Itron (Actaris) [10], де 1 – РКІ з підсвічуванням; 2 – інфрачервоний оптичний порт; 3 – додаткові клеми; 4 – клемник (ТН/ТС підключення); 5 – метрологічний світлодіод реактивної енергії (RIq); 6 – метрологічний світлодіод активної енергії (RIp);

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

7 – кнопка дисплея; 8 – кнопка скидання МН/ОРП; 9 – батарейний відсік; 10 – роз'єми комунікаційних портів; 11 – кришка клемника (стандартна або подовжена, для модему Sparklet).

Корпус лічильника виготовлений з вогнестійкого полікарбонату, що забезпечує електробезпеку та механічну міцність. Конструктивно корпус включає:

- основа з клемником – існує дві модифікації: для прямого включення (максимальний струм до 120 А) та трансформаторного включення;
- внутрішня і лицьова (прозора) кришки – виконані з посиленого незаймистого полікарбонату;
- захисні екрани метрологічного модуля (верхній і нижній);
- кришка клемника – представлена у стандартному та подовженому варіантах;
- додаткові елементи захисту, такі як пломбовані гвинти та металева крученого дроту для пломбування.

Особливості конструкції лічильника:

- лицьова кришка має окремий пломбований відсік для резервної батареї живлення годинника;
- верхня частина корпусу оснащена шарнірними завісами, а нижня – пломбованими кріпленнями;
- у варіантах з прямим включенням встановлюється прозора захисна панель над ІР-перемичками;
- деяких моделях передбачено датчик відкриття кришки, що є стандартною опцією для більшості модифікацій.

Основою для вимірювання струму є прецизійні безсердечникові трансформатори струму, що забезпечують високий клас точності. Залежно від конфігурації, застосовуються два типи трансформаторів:

- тип 1(10) А;
- тип 5(120) А.

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Для забезпечення захисту від впливу зовнішнього магнітного поля всі трансформатори оснащені антимагнітним екраном.

У нижній частині лічильника розташована електронна плата модуля живлення, яка виконує функції:

- забезпечення стабільного живлення для внутрішніх схем приладу;
- підтримання роботи мікропроцесорного блоку, вимірювальних сенсорів та допоміжних систем;
- автономного живлення вбудованого годинника реального часу при відсутності мережевої напруги (завдяки вбудованій батареї).

В залежності від року випуску та апаратної версії виконання:

- електронна плата метрологічного модуля;
- електронна плата модуля Вводів/Виводів;
- електронна плата модуля комунікаційних портів;
- електронна плата (верхня) з компонентами метрологічного модуля, модуля Вводів/Виводів, модуля комунікаційних портів, інтерфейсу «Людина-машина» (кнопки управління, оптичний порт, метрологічні СВД). [10]

Функціональні можливості лічильника електроенергії Itron SL7000:

- а) вимірювані параметри характеризуються активною, реактивною та повною енергією (в обох напрямках). А також миттєвим, середньоквадратичним, мінімальним та максимальним значенням напруги, струму та частоти;
- б) тарифікація – до 32 тарифних реєстрів для 10 каналів енергії;
- в) графіки навантаження:
 - 1) одночасний запис до 16 (2×8) каналів;
 - 2) період інтеграції: програмується від 1 до 1440 хвилин;
 - 3) глибина зберігання: до 210 діб (8 каналів, 30-хвилинний інтервал);
- г) комунікаційні інтерфейси:
 - 1) оптичний порт;
 - 2) RS-232 та/або RS-485;
 - 3) 4 керуючих виходи, 2 керуючих входи;

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

4) 6 імпульсних телеметричних виходів, 4 імпульсних телеметричних входи;

д) сумісність з протоколами: DLMS/COSEM;

е) резервне живлення: можливість підключення зовнішнього джерела живлення (AC/DC 48–400 В);

Основні технічні характеристики лічильника SL 7000 Itron наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Основні технічні характеристики лічильника SL 7000 Itron:

Тип підключення	Пряме або через трансформатори струму/напруги (СТ/VT)
Номинальна напруга	Від 3×57,7/100 В до 3×277/480 В
Номинальна частота	50/60 Гц, програмується
Номинальний струм	Пряме підключення: In 5 А, Imax 120 А через трансформатори струму: Ib 1 А, Imax 10 А
Клас точності	0,2s або 0,5s
Вимірювання	Активна та реактивна енергія, потужність, напруга, струм, частота
Багатотарифність	Підтримка до 8 тарифів, вимірювання за часовими зонами
Моніторинг якості напруги	Аналіз коливань напруги, частоти, подій
Журнал подій	Реєстрація подій, таких як відкриття кришки, зникнення живлення, перевищення порогів
Відносна вологість	До 95%, (без конденсату)
Резервне живлення годинника лічильника	Замінна літієва батарея і вбудований конденсатор великої ємності

Лічильник підтримує багатотарифний режим, що дає змогу гнучко налаштувати облік електроенергії в залежності від часу доби, добового графіка

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

або сезонних змін, оптимізуючи витрати. Інтелектуальна система реєстрації навантаження дозволяє зберігати детальну історію споживання та аналізувати профілі навантаження, що суттєво полегшує планування та контроль.

Прилад також має розвинені функції моніторингу якості електроенергії, включаючи контроль напруги, струму, частоти, що дозволяє своєчасно виявляти проблеми в електромережі. Завдяки гнучкій системі комунікації, включаючи оптичний порт, RS-232, RS-485 та можливість інтеграції з мережами GPRS чи IP, лічильник легко адаптується до сучасних систем віддаленого зчитування даних.

Особливу увагу виробник приділив безпеці та захисту від несанкціонованого втручання. SL7000 має вбудовані засоби фіксації спроб відкриття корпусу, зворотної полярності струму та інших аномалій, що захищає як споживача, так і енергокомпанію від втрат.

Ще однією перевагою є надійність в екстремальних умовах: лічильник функціонує в широкому температурному діапазоні – від -40°C до $+70^{\circ}\text{C}$, що робить його придатним для експлуатації в різних кліматичних зонах.

Таким чином, Itron SL7000 – це сучасне, точне та надійне рішення, яке забезпечує не лише облік, але й аналітику, контроль та захист електроенергетичних процесів на високому рівні.

5.2 Контролер

Контролер MCL 5.1,казаний на рис.5.2 – це компактний пристрій для віддаленого зчитування та передачі даних з лічильників електроенергії, тепла або газу через мережі GSM/GPRS. Він широко використовується в автоматизованих системах збору даних (АСКОЕ) завдяки своїй універсальності, надійності та підтримці різноманітних інтерфейсів зв'язку.

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43



Рисунок 5.2 – Контролер MCL 5.10 [12]

Основні технічні характеристики контролера MCL 5.10:

а) живлення та енергоспоживання:

- 1) діапазон вхідної напруги: 90–264 В AC, 50/60 Гц;
- 2) споживана потужність в режимі передачі – до 2,5 Вт, а в режимі очікування – до 1,2 Вт;

б) комунікаційні можливості:

- 1) вбудований модем: GSM/GPRS (клас 10);
- 2) підтримка протоколів: DLMS/COSEM, IEC 62056-21, IEC 62056-31;
- 3) режими передачі даних: CSD, GPRS, TCP/IP;
- 4) підтримка IP-адрес: фіксовані та динамічні IP;
- 5) підтримка до 6 GPRS-сесій одночасно;

в) інтерфейси зв'язку:

- 1) RS485: до 8 лічильників, довжина лінії до 1000 м;
- 2) CL (струмова петля 20 mA): до 3 лічильників, довжина лінії до 2500 м;
- 3) RS232: для локального налаштування та конфігурації;
- 4) SMA-роз'єм: для зовнішньої антени (50 Ом);

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

г) функціональні можливості:

- 1) прозорий режим передачі даних: працює як інтерфейсний міст без обробки даних;
- 2) автоматичне перемикання між 2G/3G/4G: залежно від сили сигналу;
- 3) пасивний клієнт: підтримка динамічних IP-адрес;
- 4) функція "Last Gasp": надсилання повідомлення при зникненні живлення;
- 5) періодичне самоперезавантаження: при відсутності передачі даних;
- 6) світлодіодна індикація: рівня GSM-сигналу та стану модему.

MCL 5.10 має вбудований літєвий акумулятор ємністю 600 мА·г, який дозволяє передати дані у разі аварійного знеструмлення. Світлодіодні індикатори дозволяють оцінити рівень сигналу GSM та поточний стан модему.

Пристрій адаптований до роботи в різноманітних кліматичних умовах. Діапазон робочих температур становить від -25°C до +55°C, а рівень вологості – до 95% без конденсації. Завдяки компактним розмірам (93×68×37 мм) і можливості монтажу як на DIN-рейку, так і під кришку лічильника, контролер легко інтегрується у наявну інфраструктуру.

Завдяки своїй функціональності, гнучкості та надійності MCL 5.10 широко використовується для побудови систем дистанційного моніторингу споживання енергоносіїв у житловому, комерційному та промисловому секторах.

5.3 GSM-модем

GSM-модем Cinterion, див. на рисунку 5.3, використовується для забезпечення мобільного зв'язку між польовим обладнанням (програмованими контролерами, лічильниками) та центральним сервером збору даних. Основною функцією модема є передача даних по бездротових мережах GSM та GPRS у режимі реального часу або за розкладом.

Він реалізує зручний та економічний спосіб віддаленого доступу до інформації, що дозволяє значно знизити витрати на комунікаційну

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

інфраструктуру, особливо у випадках, коли підключення по дротовим каналам неможливе або економічно недоцільне.



Рисунок 5.3 – GSM-модем Cinterion [13]

Технічні характеристики модему Cinterion:

- інтерфейс підключення: RS-232, що забезпечує надійне з'єднання з контролерами збору даних;
- підтримка AT-команд: для конфігурації, діагностики та управління модемом у стандартному режимі;
- мережеві протоколи: підтримка GSM (900/1800 МГц) та GPRS (клас 10 або 12);
- швидкість передачі: до 85,6 кбіт/с для GPRS, достатньо для регулярного обміну показниками;
- напруга живлення: 5–12 В постійного струму;
- робоча температура: від -30°C до $+75^{\circ}\text{C}$, що дозволяє застосовувати модем у зовнішніх та промислових умовах;
- захист: електромагнітна сумісність, стійкість до коливань напруги та захист від перевантаження по струму;
- розміри: компактний корпус, що дозволяє легко інтегрувати в шафи управління;

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

- підтримка SMS: можливість надсилання та прийому повідомлень для аварійного сповіщення чи керування;

- сертифікація: відповідність міжнародним стандартам CE, RoHS, ISO.

Функціональні можливості модему Cinterion:

- стійке з'єднання навіть за слабого сигналу завдяки вбудованим алгоритмам повторної передачі;

- підтримка захищених з'єднань з використанням VPN або IP-фільтрації (залежно від оператора);

- можливість роботи в режимі автодозвону – автоматичне встановлення з'єднання при втраті лінії;

- інтеграція з SCADA або АСКОЕ-системами через стандартні інтерфейси;

- віддалене оновлення конфігурації та перезапуск через команди AT.

Переваги використання модему Cinterion:

- надійність – гарантована передача даних за будь-яких умов;

- універсальність – підтримка більшості стандартів зв'язку і протоколів;

- гнучкість – легке налаштування, заміна або оновлення програмного забезпечення;

- енергоефективність – низьке енергоспоживання у режимах очікування.

Таким чином, модеми Cinterion є оптимальним рішенням для використання у системах обліку електроенергії завдяки високій надійності, сумісності з промисловими стандартами та здатності працювати у складних експлуатаційних умовах.

5.4 Трансформатор струму

Трансформатор струму – це вимірювальний прилад, який перетворює великі значення змінного струму до менших. Він складається з магнітопроводу та двох обмоток – первинної та вторинної. В первинну обмотку трансформатора струму підключається послідовно до кола із змінним струмом для вимірювання, а

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

вторинну обмотку – до вимірювальних приладів. Струм у вторинній обмотці пропорційний струму в первинній обмотці.

Трансформатори струму широко використовуються в електроенергетичних системах для вимірювання струму та в пристроях релейного захисту. Вони забезпечують високу точність вимірювань та ізоляцію від високої напруги в безпечний спосіб.

Зазвичай трансформатор струму має кілька груп вторинних обмоток: одна для пристроїв захисту та інша, більш точна, для вимірювань. Це дозволяє використовувати їх для різних завдань в електромережі.

Вимірювальний трансформатор струму, зображений на рисунку 5.5, відокремлює ланцюг електричних приладів від високої напруги до низької, спрощуючи їхню конструкцію та роботу з меншою напругою і струмом. Також вони здатні перетворювати велику напругу струму в значно меншу величину, що дозволяє використовувати стандартні вимірювальні прилади для вимірювання струму. Відмінності вимірювальних трансформаторів виявляються через їх унікальні характеристики порівняно з іншими пристроями. Робочий принцип вимірювального трансформатора може виявити невеликі відмінності в порівнянні з іншими приладами. Основна відмінність полягає в тому, що вимірювальний трансформатор включається в первинну обмотку, яка входить в вимірюваний електричний ланцюг. Вторинна обмотка повністю пропорційна первинному струму, який підлягає вимірюванню. Зазвичай вторинну обмотку конструюють для роботи при струмі 5 А, і до неї можуть бути підключені амперметри та ватметри. Релейний захист призначений для захисту електричних систем від коротких замикань. [15]

У трифазних мережах вимірювальні трансформатори можна встановлювати як у двох, так і у трьох фазах. У випадку встановлення в двох фазах, вторинна обмотка буде з'єднана у формі «неповної зірки». Для мережі напругою вище 35 кВт рекомендується [14] встановлення вимірювальних трансформаторів струму у всіх трьох фазах. У випадку використання трансформаторів для диференціального захисту, вторинну обмотку слід з'єднати у формі «трикутника» [8].

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

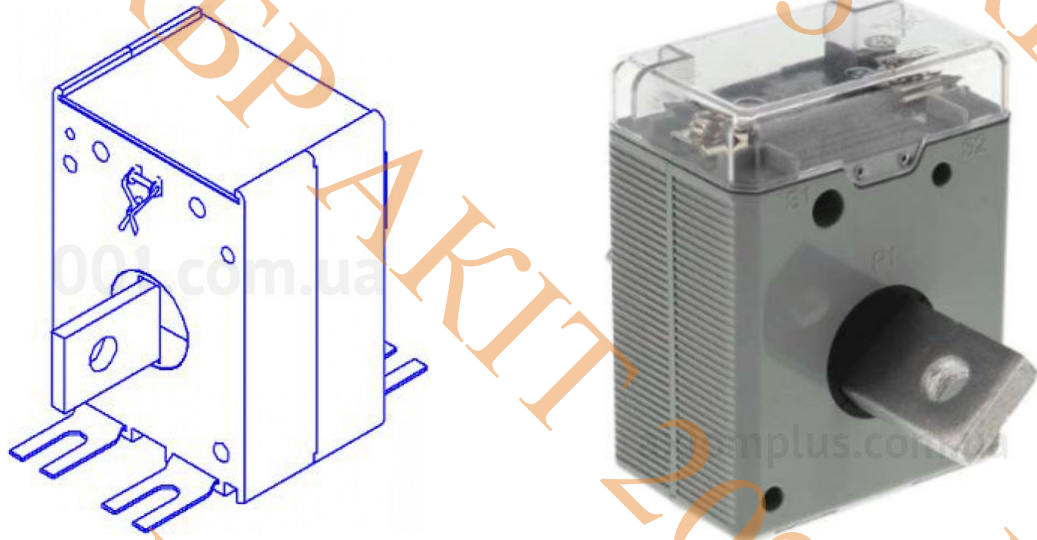


Рисунок 5.5 – Вимірювальний трансформатор струму TOPN-0,66 150/5 0,5S [17]

5.5 Центральний та резервний сервери АСКОЕ

Центральна серверна частина системи автоматизованого комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) виконує ключову роль у забезпеченні надійного збору, обробки, зберігання та аналізу даних, що надходять з периферійних пристроїв – лічильників і контролерів. Для забезпечення безперервної роботи та підвищеної надійності передбачено функціонування центрального сервера АСКОЕ і резервного сервера, які працюють у режимі дублювання з синхронізацією даних у реальному часі.

Основні функції серверної частини:

- збір даних з контролерів через GPRS/Internet-мережу, за допомогою програмного забезпечення, що реалізує автоматичне опитування всіх об'єктів системи з заданою періодичністю;
- обробка та валідація даних: очищення, перевірка достовірності, контроль наявності втрат або дублювань;
- зберігання інформації у централізованій базі даних, з можливістю архівування, створення резервних копій і ведення журналів змін;

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
					49	

- формування звітності: автоматичне створення технічних, комерційних та аналітичних звітів у вигляді таблиць, графіків та діаграм;
- візуалізація даних через інтерфейс оператора: веб-додаток або спеціалізоване клієнтське програмне забезпечення;
- інтеграція з адміністративними системами, зокрема системою адміністрування комерційного обліку (АКО), а також з іншими ІТ-системами підприємства (ERP, CRM тощо);
- захист і шифрування: передача даних до серверів здійснюється через захищені канали (VPN, SSL/TLS), що гарантує конфіденційність інформації;
- контроль доступу: реалізація багаторівневої системи аутентифікації користувачів із ролями та правами доступу;
- моніторинг працездатності усіх компонентів системи, а також ведення логів і аварійних повідомлень.

Технічні характеристики серверного обладнання (типовий приклад):

- процесор: Intel Xeon E5 або AMD EPYC (мультипоточна обробка);
- оперативна пам'ять: від 32 ГБ і більше, з можливістю розширення;
- накопичувачі: RAID-масиви SSD та HDD (поєднання швидкості та об'єму), не менше 1 ТБ;
- операційна система: Linux Server або Windows Server 2019/2022;
- база даних: PostgreSQL, Microsoft SQL Server або Oracle DB;
- резервне копіювання: вбудовані засоби або зовнішні сховища для автоматичних бекапів;
- засоби віртуалізації: VMware, Hyper-V (у разі використання серверів для декількох задач).

Реалізація дублювання серверів у системі передбачає використання резервного сервера, що функціонує в режимі «гарячого дубля». Такий підхід забезпечує постійну синхронізацію з основним сервером у реальному часі. У випадку відмови основного вузла система автоматично перемикається на резервний сервер, що дозволяє уникнути втрати даних та забезпечити безперервність роботи. Для підвищення рівня надійності та захисту від фізичних

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

загроз, таких як пожежа чи затоплення, сервери можуть бути розміщені у різних фізичних локаціях. Така організація інфраструктури сприяє зменшенню ризику повної зупинки системи у разі надзвичайних ситуацій.

Інтерфейси зв'язку поділяються на:

- RS-232 (використовується для локального підключення модемів або шлюзів);
- Ethernet (підключення до локальної мережі підприємства);
- VPN/Internet (основний канал для віддаленого доступу та отримання даних з периферійних пристроїв).

5.6 Інтерфейс RS-485

Інтерфейс RS-485 використовується у системах автоматизованого обліку електроенергії як основний канал обміну даними між електролічильниками та програмованими контролерами збору даних. Завдяки своїм електричним і функціональним характеристикам він ідеально підходить для промислових застосувань, де потрібна висока надійність, стабільність передачі сигналу на значні відстані та стійкість до електромагнітних завад.

Основні технічні характеристики інтерфейсу RS-485 наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Основні технічні характеристики інтерфейсу RS-485.

Тип сигналу	Диференціальний (двопровідна лінія А/В), що забезпечує стійкість до шумів
Швидкість передачі	До 10 Мбіт/с на коротких відстанях (залежно від довжини кабелю)
Максимальна довжина лінії	До 1200 метрів при швидкості до 100 кбіт/с
Кількість підключень	Пристроїв на одній шині без використання повторювачів (можливо розширення до 128 через спеціальні драйвери)
Топологія	Підтримка шинної, зіркоподібної або змішаної конфігурації

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Переваги використання RS-485:

- висока перешкодостійкість (диференціальна передача дозволяє працювати у середовищі з сильними електромагнітними завадами, такими як трансформаторні підстанції, виробничі цехи, електрощитові тощо);
- низька вартість реалізації (не потребує дорогого обладнання чи спеціалізованих мережевих компонентів);
- гнучкість у проектуванні мережі (легко масштабувати кількість пристроїв без значної зміни структури);
- сумісність із промисловими протоколами (широко використовується для обміну за допомогою протоколів Modbus RTU, DLMS/COSEM, що є стандартом у системах АСКОЕ);
- енергоефективність (мінімальне енергоспоживання інтерфейсу в режимі очікування та передачі).

У поданій структурній схемі (Додаток А) система використовує RS-485 для зв'язку між:

- електролічильниками типу SL7000 або аналогічними, які забезпечують вимірювання параметрів електроенергії;
- програмованими контролерами збору даних (типу MCL 5.10U(Z)), які приймають дані від лічильників та передають їх на сервер через GPRS або Ethernet;
- додатковими модулями (наприклад, блоками вводу/виводу, реєстраторами), якщо потрібно зчитування додаткових сигналів або керування виконавчими пристроями.

Захист та рекомендації використання інтерфейсних пристроїв. З метою зниження ризику пошкодження обладнання, викликаного грозовими перенапругами, доцільним є застосування гальванічної розв'язки на портах RS-485. У випадках, коли відстань між пристроями є значною або спостерігається підвищений рівень електромагнітних завад, рекомендується використовувати екрановані кабелі, такі як FTP або STP, із заземленням екрана з одного боку. Для

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

забезпечення стабільності передавання даних та зменшення відбиттів сигналу на кінцях шини слід передбачити встановлення термінаторів опором 120 Ом.

5.7 Інвентор

Мережевий сонячний інвертор – це ключовий компонент сонячної електростанції, який перетворює постійний струм (DC) від сонячних панелей у змінний струм (AC), сумісний з мережею електропостачання. Приклад мережевого сонячного інвертора показаний на рисунку 5.6.

Основне призначення:

- перетворення DC – AC з урахуванням параметрів мережі.
- синхронізація з мережею (частота, фаза, напруга).
- передача надлишкової електроенергії в мережу.
- забезпечення системи моніторингу вироблення електроенергії.

Основні характеристики мережевого інвертора SMA Sunny Tripower CORE1 STP 50-40 приведені в таблиці 5.3.



Рисунок 5.6 – Мережевий сонячний інвертор SMA Sunny Tripower CORE1 STP 50-40 [11]

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Таблиця 5.3 – Основні характеристики мережевого інвертора SMA Sunny Tripower CORE1 STP 50-40:

Параметр	Значення / Опис
Тип інвертора	Однофазний або трифазний
Потужність	Від 1 кВт до 250+ кВт
Вхідна напруга (DC)	Залежить від моделі, зазвичай 150–1000 В
ККД перетворення	96–99%
Інтерфейси зв'язку	RS-485, Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth
Захисти	Від перенапруги, короткого замикання, перевантаження
Моніторинг	Через мобільний додаток або веб-платформу

Мережевий сонячний інвертор працює за таким принципом: він приймає постійний струм, що надходить від сонячних панелей, і перетворює його у змінний струм, який відповідає параметрам загальної електромережі. Це перетворення відбувається за допомогою внутрішньої електроніки, яка не просто змінює тип струму, а й адаптує його напругу, частоту та фазу відповідно до тієї, яка вже існує в мережі. Перш ніж подати струм далі, інвертор виконує синхронізацію із загальною мережею – він аналізує її параметри та налаштовує вихідні характеристики, щоб уникнути будь-якого конфлікту або збоїв.

Крім цього, сучасний інвертор безперервно відстежує рівень сонячної генерації, щоб працювати в точці максимальної потужності – це забезпечується функцією MPPT (відстеження точки максимальної потужності). Після перетворення змінний струм подається на локальне споживання: частина енергії може одразу живити будинок або підприємство, а надлишки автоматично спрямовуються у зовнішню мережу, якщо система дозволяє зворотний експорт. Якщо ж мережа зникає (наприклад, через аварію), інвертор припиняє роботу – це необхідно для захисту ремонтних бригад, що можуть працювати на лінії.

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

6 РОЗРОБКА МОНТАЖНОЇ СХЕМИ ТА НАЛАШТУВАННЯ СИСТЕМИ

6.1 Алгоритм роботи СЕС

Алгоритм роботи СЕС (див. додаток Б) описує процес роботи системи контролю з використанням інвертора. Покроковий опис алгоритму:

а) процес розпочинається з початкового стану системи, який позначається як «ПОЧАТОК». Це може бути ввімкнення системи, запуск програмного забезпечення або подача живлення;

б) ініціалізація системи контролю, а саме:

- 1) завантажуються конфігурації;
- 2) активуються всі необхідні модулі керування;
- 3) перевіряється стан підключених пристроїв;
- 4) проводиться діагностика базових функцій;

в) система здійснює перевірку сумісності всіх основних елементів:

- 1) сонячних панелей;
- 2) інвертора;
- 3) контролера заряду;
- 4) системи зберігання енергії (за наявності);
- 5) модулів зв'язку та передачі даних;

г) основний робочий цикл (при нормальній сумісності):

- 1) орієнтація панелей на сонце для максимальної ефективності;
- 2) генерація електроенергії від сонячних панелей;
- 3) перетворення постійного струму (DC) на змінний струм (AC) за допомогою інвертора;

д) моніторинг параметрів – безперервний контроль робочих параметрів системи;

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

е) перевірка аварійних ситуацій: якщо виявлено аварійну ситуацію – система переходить у режим відновлення, якщо параметри в нормі – продовження роботи;

є) передача даних до електромережі;

ж) збереження даних про роботу системи;

з) циклічність.

Після збереження даних система повертається до етапу перевірки сумісності, утворюючи безперервний цикл моніторингу та роботи. Алгоритм забезпечує автоматичне керування сонячною енергетичною системою з контролем безпеки та ефективності її роботи.

6.2 Схема розташування приладів обліку електричної енергії

На рисунку (див. додаток В) представлена схема розташування приладів обліку електроенергії, що використовується для фіксації електроенергії, виробленої сонячною електростанцією, а також для контролю споживання власних потреб. Такий облік є невід’ємною складовою системи комерційного обліку в об’єктах генерації електроенергії, особливо в умовах паралельної роботи з мережею.

Система побудована на основі трансформаторної підстанції ТП-35/0,4 кВ типу “ТПП”, яка виконує функцію зниження напруги з магістральної лінії 35 кВ до напруги 0,4 кВ, придатної для використання побутовими та промисловими споживачами. Підстанція підключена до зовнішньої високовольтної лінії електропередач (ЛЕП) через комутаційний апарат і систему захисту.

У високовольтній частині обліку (35 кВ) передбачено встановлення трансформаторів струму типу SL7000, номінальний струм яких становить 5/100 А, клас точності – 0.5S. Трансформатори струму призначені для живлення лічильника активної енергії (позначений на схемі як Wh), що відповідає за облік електроенергії, яка надходить до мережі з боку генерації.

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Клас точності 0.5S обрано з урахуванням вимог до високої точності комерційного обліку – він забезпечує мінімальні похибки при низьких навантаженнях, характерних для фотоелектричних станцій.

Основним силовим елементом є масляний трансформатор типу ТМ з номінальною потужністю 1600 кВА і трансформацією 35/0,4 кВ. Він забезпечує перетворення напруги до рівня, необхідного для подальшого розподілу електроенергії як споживачам, так і системам інверторів сонячної електростанції.

На стороні 0,4 кВ, після інверторів сонячної електростанції, встановлено трансформатори струму типу ТШП-0.66, з номінальним струмом 2500/5 А та класом точності 0.5.

ТШП (трансформатори струму шинні) призначені для монтажу безпосередньо на струмопровідні шини, що робить їх особливо зручними у збірках низьковольтного електрообладнання. Ці трансформатори використовуються для зниження струму до вимірювального рівня (5 А), що дозволяє підключити їх до лічильників електроенергії. У схемі вони з'єднані з окремим лічильником (Wh), який виконує облік всієї виробленої електроенергії від сонячних панелей.

Така структура дозволяє вести точний облік як на стороні високої напруги (передача в мережу), так і на стороні генерації постійного струму після перетворення інвертором.

Для забезпечення функціонування власної інфраструктури (вентиляція, охолодження трансформатора, освітлення, АСУТП тощо) передбачено окрему лінію живлення власних потреб. Облік тут виконується за допомогою трансформаторів струму Т-0.66 з номінальним струмом 100/5 А, клас точності – 0.5. Дані передаються на окремий лічильник (Wh), що забезпечує облік споживаної енергії незалежно від основної генерації.

Функціональні особливості схеми забезпечує:

Роздільний облік генерації електроенергії (від сонячних панелей) та передачі в мережу (по лінії 35 кВ);

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

- облік споживання власних потреб, що необхідно для ведення техніко-економічного аналізу ефективності роботи станції;
- високу точність вимірювань завдяки застосуванню трансформаторів струму класу точності 0.5S/0.5;
- можливість інтеграції до АСКОЕ (автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії) з передачею даних на диспетчерські пункти.

Подана схема є типовою для невеликих або середніх об'єктів генерації електроенергії від ВДЕ, зокрема сонячних електростанцій, і відповідає вимогам діючих нормативних документів щодо обліку енергії в паралельному режимі роботи з ОЕС України. Вона забезпечує повний цикл обліку: від генерації до передачі та власного споживання.

6.3 Схема підключення вимірювальних ланцюгів

На рисунку (див. додаток Г) представлено структурну електричну схему підключення вимірювальних ланцюгів системи обліку електроенергії. Вона охоплює обладнання, яке встановлюється в межах трансформаторної підстанції типу ТП-35/0,4 кВ та в шафі автоматизованої системи контролю та обліку електроенергії (АСКОЕ).

У верхній частині схеми розміщено два лічильники типу SL7000, кожен з яких з'єднаний із трансформаторами струму (ТТ) відповідно до своєї секції. Передбачено підключення через інтерфейс RS485 за допомогою роз'ємів RJ45. Живлення кожного з лічильників здійснюється від мережі змінного струму 220 В.

Зчитування даних із лічильників забезпечується програмованими контролерами типу MCL 5.10, які вказані на схемі як UZ1 та UZ2. Ці контролери отримують інформацію через інтерфейс RS485 і забезпечують передачу даних на головний блок керування системою. Контролери живляться від джерела постійного струму напругою 12 В, яке формує блок живлення (БЖ 10В), розташований у шафі GU. Остання також включає клемні з'єднання для підключення живлення, сигналів та контактів.

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Живлення усієї системи реалізується через роздільний трансформатор, який знижує напругу з 220 В до необхідного рівня. Для забезпечення безперервної роботи передбачене резервне живлення від акумуляторної батареї ємністю 7 А·год при нарузі 12 В. Силове підключення виконується через автоматичний вимикач QF.

Всі елементи схеми інтегруються в межах шафи АСКОЕ, яка включає комутаційні елементи, джерела живлення, контролери та інтерфейси зв'язку. Така структура дозволяє реалізувати централізоване вимірювання та контроль електроенергії з можливістю передачі даних до зовнішніх систем моніторингу та обліку.

Таким чином, дана схема забезпечує повний функціональний цикл обробки електровимірювальної інформації – від зчитування первинних параметрів до їх подальшої передачі та збереження в інформаційній системі. Надійність роботи підвищується завдяки резервному живленню, а уніфіковане підключення через стандартні інтерфейси полегшує монтаж та технічне обслуговування.

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи:

1. Проведено аналіз питань проектування та використання систем автоматичного обліку електроенергії в сучасних комбінованих мережах із сонячними електростанціями. Визначено особливості технічної структури таких систем, їхні базові параметри, режими функціонування та виконувані функції.

2. Розроблено концепцію технічного підходу до проектування системи автоматичного обліку електроенергії та обґрунтовано основні принципи, які використані в роботі для проектування таких систем.

3. Зроблено вибір типу структури проектованої автоматичної системи комерційного обліку і моніторингу електроенергії та розроблено структурну схему системи.

4. Відповідно із створеною структурною схемою проведено критичний вибір сучасних цифрових компонент для технічної частини автоматичної системи обліку електроенергії – двосторонній лічильник, контролер, GSM-модем, трансформатори струму і напруги, центральний і резервний сервери.

5. Спроектовані конструкторські документи на розроблену технічну частину автоматичної системи обліку, її монтажу, налаштування та програмування.

6. Створено алгоритм функціонування системи автоматичного обліку електроенергії в сучасних комбінованих мережах електричного живлення.

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

- 1.[Електронний ресурс] – режим доступу:
<https://sonergia.com.ua/pryntsyv-roboty-sonyachnyh-batarej/>
- 2.[Електронний ресурс] – режим доступу:
<https://setech.in.ua/avtonomni-sonyachni-stantsii/>
- 3.[Електронний ресурс] – режим доступу:
<https://ecoenerhiia.ua/sonjachni-elektrostantsii/sonjachna-elektrostantsija-12-kvt.html>
- 4.[Електронний ресурс] – режим доступу:
<https://setech.in.ua/gibrydni-sonyachni-stantsii/>
- 5.[Електронний ресурс] – режим доступу:
<https://prel.prom.ua/a315870-sonyachna-batareya-budova.html>
6. Про затвердження нормативно-правових актів, що регулюють діяльність гарантованого покупця та купівлі електричної енергії за «зеленим» тарифом та за аукціонною ціною: Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 26.04.2019 № 641 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0641874-19> (Дата звернення 09.01.2024).
7. Стаднік М.І., Видмиш А.А., Штуць А.А., Колісник М.А. Інтелектуалізація електроенергетичних систем. Теорія. Лабораторні роботи. Практичні заняття. Навчально-методичний посібник для студентів галузі знань 14 «Електрична інженерія», спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Вінниця, РВВ ВНАУ: 2019. 277 с. URL: <http://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/20549.pdf> (Дата звернення 09.01.2024).
8. / Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті: матеріали ХХІІ міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 20-21 травня 2021р.). К.: Інтерсервіс, 2021. 1104 с. DOI: <https://doi.org/10.36296/renewable.conf.20-21.05.2021>

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

9. О. Л. Шпак, П. Д. Луців, В. П. Калінчик, О. О. Шиянов. Автоматизована система комерційного обліку електроенергії ПАТ «Хмельницькобленерго». Енергетика: економіка, технології, екологія : науковий журнал. 2014. № 2(36). С. 112–117.

10. [Електронний ресурс] – режим доступу:

https://energooblik.com.ua/sites/default/files/instrukciya_z_ekspluataciyi_sl7000.pdf

11. [Електронний ресурс] – режим доступу:

https://solarenergy.ua/oborudovanie/setevye-invertory/setevoy-invertor-sunny-tripower-core1-stp-50-40/?srsrtid=AfmBOortTbFtDKNMH1p1f_V5EZhLTQTmH78XupKxTYm3G5_z0PRVpW9z

12. [Електронний ресурс] – режим доступу:

https://itps.com.ua/ru/electricity%20metering/mcl_5-10

13. [Електронний ресурс] – режим доступу:

https://digus.com.ua/m2m/cinterion-mc52i-gsm-gprs-modem-rs232/?utm_source

14. Концепція побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку: Затв. спільним наказом Мінпаливенерго, НКРЕ, Держкоменергозбереження, Держстандарту, Держбуду та Держкомпромполітики України №32/28/28/276/75/54 від Держкоменергозбереження, Держстандарту, Держбуду та Держкомпромполітики України №32/28/28/276/75/54 від 17.04.2000р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0032558-00>

15. [Електронний ресурс] – режим доступу:

<https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/b21461a5-199c-401f-b8d7-fdfde57b0e69/content>

16. [Електронний ресурс] – режим доступу:

<https://studfile.net/preview/16375658/>

17. [Електронний ресурс] – режим доступу:

<https://axiomplus.com.ua/ua/izmeritelnye-transformatory/product-36490/>

					КР.АКІТ.9469991.01.000 ПЗ	Арк.
Вим	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62