

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри енергетики та
електротехнічних систем

доцент Чепіжний А.В.

ДИПЛОМНА РОБОТА
за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження системи моніторингу якості
електричної енергії в мережах 0,4 кВ»

Виконав

(підпис)

Руденко Д. М.
(прізвище, ініціали)

Група

ЕТЕС 2301м

(Науковий) керівник:

(підпис)

Савойський О. Ю.
(прізвище, ініціали)

Суми – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

завідувач кафедри енергетики та
електротехнічних систем

доцент _____ Чепіжний А.В.
(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 202__ року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Руденку Данілу Миколайовичу

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження системи моніторингу якості електричної енергії в мережах 0,4 кВ

керівник роботи: Савойський Олександр Юрійович, старший викладач

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

затверджено наказом по закладу вищої освіти від «26» 02 2024 р. № 572/ос

2. Термін подання здобувачем закінченої роботи «18» березня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Річні звіти базового підприємства, нормативно-технічна документація, наукові та літературні джерела

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):

1. Теоретичні основи та засоби контролю якості електроенергії

2. Дослідження роботи інформаційно-вимірювальної системи моніторингу якості електричної енергії

3. Охорона праці

4. Економічне обґрунтування

Висновки та пропозиції

Список використаної літератури

Додатки

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Презентаційний матеріал виконаний в програмі Power Point

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата

КАЛЕНДАРНИЙ ГРАФІК

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 04.10.2024 р.	
2	Складання плану роботи	до 11.10.2024 р.	
3	Написання вступу	до 18.10.2024 р.	
4	Підготовка розділу «Розділ 1»	до 01.11.2024 р.	
5	Підготовка розділу «Розділ 2»	до 29.11.2024 р.	
6	Підготовка розділу «Розділ 3»	до 10.01.2025 р.	
7	Підготовка розділу «Розділ 4»	до 28.02.2025 р.	
8	Написання висновків та пропозицій	до 07.03.2025 р.	
9	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 10.03.2025 р.	
10	Подання роботи на рецензування	до 14.03.2025 р.	
11	Подання до попереднього захисту	до 19.03.2025 р.	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

(Руденко Д. М.)

(прізвище, ініціали)

**(Науковий) керівник
дипломної роботи**

(підпис)

(Савойський О. Ю.)

(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Руденко Д. М. Дослідження системи моніторингу якості електричної енергії в мережах 0,4 кВ. Дипломна робота на здобуття ступеня вищої освіти «Магістр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

Дипломна робота присвячена дослідженню системи моніторингу якості електричної енергії в мережах низької напруги (0,4 кВ). Актуальність роботи обумовлена необхідністю підвищення якості електропостачання споживачів, що сприятиме збільшенню надійності роботи електрообладнання, зниженню енергетичних втрат та покращенню ефективності використання електроенергії.

У першому розділі розглянуто основні теоретичні аспекти та методи контролю якості електричної енергії. Визначено ключові параметри якості, такі як напруга, частота, коефіцієнт гармонічних спотворень та рівень симетрії фазних напруг. Проведено аналіз існуючих пристроїв та методів контролю, що використовуються у системах моніторингу. Визначено переваги та недоліки різних типів приладів, включаючи сучасні цифрові аналізатори електроенергії.

Другий розділ присвячений практичним дослідженням функціонування інформаційно-вимірювальної системи для моніторингу якості електроенергії. Розглянуто архітектуру розподіленої системи моніторингу, що включає у себе вимірювальні пристрої, засоби збору та обробки даних. Особливу увагу приділено аналізатору електроенергії SATEC EDL180, який було використано у дослідженні. Наведено схему його підключення до електромережі, описано методику збору та аналізу даних. Об'єктом дослідження обрано офісне приміщення, для якого проведено аналіз основних показників якості електроенергії. Виявлено відхилення від нормативних значень та запропоновано заходи щодо їх усунення.

Третій розділ містить питання охорони праці при експлуатації інформаційно-вимірювальних систем та електротехнічного обладнання. Розглянуто заходи безпеки під час встановлення та обслуговування пристроїв

моніторингу, а також основні вимоги до електробезпеки персоналу.

У четвертому розділі проведено економічне обґрунтування впровадження системи моніторингу якості електроенергії. Проаналізовано витрати на придбання та встановлення обладнання, оцінено потенційні економічні переваги від зниження енергетичних втрат та підвищення ефективності використання електроенергії.

У висновках підсумовано результати дослідження, окреслено основні напрями покращення якості електроенергії та рекомендовано впровадження сучасних інформаційно-вимірювальних систем для постійного моніторингу параметрів електропостачання. Робота може бути корисною для інженерів-електриків, енергетичних компаній та підприємств, які прагнуть підвищити якість електропостачання та зменшити експлуатаційні витрати.

Ключові слова: моніторинг якості електричної енергії, SATEC EDL180, мережі 0,4 кВ, енергетичні втрати.

ABSTRACT

Rudenko D. M. Research on the Power Quality Monitoring System in 0.4 kV Networks. Master's Thesis for the Degree of Higher Education "Master" in Specialty 141 "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering, and Electromechanics." Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025.

The master's thesis is dedicated to researching the power quality monitoring system in low-voltage networks (0.4 kV). The relevance of the work is driven by the need to improve the quality of power supply to consumers, which will enhance the reliability of electrical equipment operation, reduce energy losses, and improve the efficiency of electricity usage.

The first chapter examines the main theoretical aspects and methods of power quality control. The key quality parameters, such as voltage, frequency, total harmonic distortion, and phase voltage symmetry, are defined. An analysis of existing devices and monitoring methods is conducted, highlighting the advantages and disadvantages of different types of instruments, including modern digital power analyzers.

The second chapter focuses on practical research into the operation of an information-measurement system for power quality monitoring. The architecture of a distributed monitoring system is considered, including measurement devices, data collection, and processing tools. Special attention is given to the SATEC EDL180 power analyzer, which was used in the study. The connection scheme to the electrical network is provided, along with the methodology for data collection and analysis. The research object is an office building, where an analysis of key power quality indicators was conducted. Deviations from regulatory values were identified, and measures for their elimination were proposed.

The third chapter addresses occupational safety issues related to the operation of information-measurement systems and electrical equipment. Safety measures during the installation and maintenance of monitoring devices, as well as key electrical safety requirements for personnel, are reviewed.

The fourth chapter presents an economic justification for implementing the power quality monitoring system. The costs of purchasing and installing the equipment are analyzed, and the potential economic benefits of reducing energy losses and improving power efficiency are assessed.

The conclusions summarize the research findings, outline key directions for improving power quality, and recommend implementing modern information-measurement systems for continuous monitoring of power supply parameters. The thesis can be useful for electrical engineers, energy companies, and enterprises seeking to enhance power supply quality and reduce operational costs.

Keywords: power quality monitoring, SATEC EDL180, 0.4 kV networks, energy losses.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	8
1.1. Основні завдання контролю якості електричної енергії	8
1.2. Види контролю якості електричної енергії.....	9
1.4. Аналіз пристроїв та засобів реєстрації показників якості електричної енергії.....	12
1.5. Вибір оптимального рішення	23
1.6. Висновки до розділу.....	24
2. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	26
2.1. Дослідження архітектури розподіленої інформаційно-вимірювальної системи для моніторингу якості електричної енергії	26
2.2. Складання схеми включення SATEC EDL180 в мережу	29
2.3. Методика дослідження показників якості електричної енергії за допомогою SATEC EDL180	31
2.3. Опис об'єкту для аналізу якості електричної енергії.....	32
2.4. Аналіз показників якості електричної енергії на вводі офісного приміщення.....	34
2.5. Розробка рекомендацій щодо покращення якості електричної енергії.	39
2.6. Висновки до розділу.....	42
3. ОХОРОНА ПРАЦІ	43
4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	47
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	50
ДОДАТКИ	53

ВСТУП

Актуальність теми. Ефективне функціонування електричних мереж є ключовим елементом сучасного енергетичного сектору, що впливає на економічний розвиток, соціальну стабільність та екологічну безпеку. Якість електричної енергії в мережах низької напруги (0,4 кВ) має особливе значення, оскільки ці мережі є останньою ланкою в постачанні електроенергії до споживачів, включаючи промислові підприємства, установи та домогосподарства.

Останніми роками значно зросло використання чутливих до якості електроенергії пристроїв, таких як електронні прилади, інвертори, джерела безперебійного живлення та електротранспорт. Будь-які відхилення параметрів електричної енергії, таких як напруга, частота або форма сигналу, можуть спричинити збої в роботі цих пристроїв, скорочення їх терміну експлуатації або навіть вихід з ладу.

Крім того, впровадження відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних і вітрових електростанцій, створює додаткові виклики щодо стабільності та якості енергопостачання в мережах низької напруги. У зв'язку з цим необхідно розробляти й удосконалювати системи моніторингу якості електричної енергії, які забезпечать своєчасне виявлення порушень, аналіз причин і прийняття ефективних заходів для їх усунення.

Таким чином, дослідження систем моніторингу якості електричної енергії в мережах 0,4 кВ є актуальним і спрямованим на вирішення важливих технічних та економічних завдань. Результати такого дослідження сприятимуть підвищенню надійності електропостачання, мінімізації втрат електроенергії та забезпеченню високого рівня задоволення потреб споживачів.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є аналіз існуючих підходів до моніторингу якості електричної енергії в мережах 0,4 кВ, розробка рекомендацій щодо вдосконалення систем моніторингу, а також визначення

шляхів підвищення надійності електропостачання шляхом забезпечення відповідності параметрів електроенергії встановленим стандартам.

Для досягнення мети поставлені наступні завдання:

- проаналізувати сучасні технології та обладнання для моніторингу якості електроенергії;
- запропонувати ефективні способи підвищення точності та оперативності моніторингу якості електроенергії;
- перевірити ефективність розроблених рекомендацій у реальних умовах мереж 0,4 кВ;
- визначити економічні переваги від впровадження запропонованих заходів.

Об’єктом дослідження є процеси моніторингу якості електричної енергії в мережах низької напруги (0,4 кВ), включаючи їх технічні, нормативні та експлуатаційні аспекти.

Предметом дослідження є методи, засоби та технології моніторингу якості електричної енергії в мережах низької напруги (0,4 кВ).

Практичне значення отриманих результатів полягає у вдосконаленні систем моніторингу якості електроенергії в мережах 0,4 кВ, що забезпечує своєчасне виявлення та усунення відхилень, підвищення надійності енергопостачання, зменшення експлуатаційних витрат і втрат електроенергії.

Апробація результатів роботи. Основні результати дослідження були представлені та обговорені на міжнародній науково-практичній конференції, за результатами роботи якої опубліковано дві тези доповіді [1, 2].

1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

1.1. Основні завдання контролю якості електричної енергії

Параметри якості електроенергії в мережі демонструють рівень спотворень напруги, спричинених кондуктивними завадами, які генерує електротехнічне обладнання. Одні показники характеризують стабільні режими роботи електрообладнання, даючи змогу кількісно оцінити якість електроенергії, особливості виробничих, передавальних, розподільчих та споживчих процесів. Інші ж показники відображають короточасні збурення, що виникають у мережі через комутаційні процеси, грозові явища, роботу систем автоматики та захисту. Для аналізу таких параметрів потрібно проводити вимірювання амплітуди, тривалості, частоти та інших характеристик, які хоча й визначені, проте не завжди нормуються стандартами [3, 4, 5].

Основними завданнями моніторингу якості електроенергії є [6-10]:

- виявлення збурень (спотворення напруги та струму);
- оцінка їх величини;
- реєстрація отриманих даних для подальшого аналізу та візуалізації результатів;
- аналіз показників якості електроенергії з оцінкою їх відповідності нормативним вимогам;
- ідентифікація джерел збурень;
- здійснення взаєморозрахунків між постачальником і споживачем електроенергії.

Організація вимірювань передбачає чітке визначення їх цілей, вибір точки електричної мережі для моніторингу та встановлення переліку показників, які підлягають контролю. Від цих чинників залежить вибір типу

обладнання та побудова архітектури інформаційно-вимірювальної системи [11].

1.2. Види контролю якості електричної енергії

Контроль якості електроенергії полягає в перевірці відповідності показників електричної енергії встановленим стандартам та вимогам. Існує кілька основних цілей цього процесу [12, 13].

Перевірка на відповідність вимогам технічних регламентів або нормативних актів здійснюється через вимірювання ключових параметрів якості електроенергії, таких як напруга та частота. Цей контроль проводиться державними наглядовими органами, сертифікованими лабораторіями або відповідальними за електрогосподарство споживачами. Результати вимірювань надаються за весь період спостереження, на основі яких робиться висновок про відповідність якості електроенергії встановленим нормам.

Діагностичний контроль необхідний для виявлення причин погіршення якості електроенергії та ідентифікації винуватця зниження її параметрів. Цей контроль також включає перевірку відповідності технічних умов приєднання споживачів до електричних мереж та угод на постачання електроенергії. Окрім основних показників якості, фіксуються додаткові параметри, що характеризують електричну енергію в частині струму та потужності. Результати вимірювань надаються у числовому та графічному вигляді, а для побудови графіків використовуються середні показники якості за короткі проміжки часу, які обираються залежно від технологічного процесу та зазвичай становлять від 1 до 30 хвилин [14].

Комерційний контроль застосовується для економічного впливу на винуватців погіршення якості електроенергії. Якщо це передбачено умовами договору на постачання електроенергії, то при фіксації відхилень від встановлених норм накладаються штрафи або неустойки. У цьому випадку

реєструються показники напруги, струму та потужності, а також ведеться облік відпущеної електроенергії [15].

Технологічний контроль передбачає вимірювання з меншими похибками або більшу точність вимірювань, ніж це вимагається стандартами. Для цього можуть використовуватися більш доступні та прості засоби вимірювання. Завдання такого контролю полягає в оцінці впливу технологічного процесу споживача на якість електричної енергії [15].

Залежно від тривалості вимірювань, розрізняють два типи контролю якості електроенергії: періодичний контроль, коли показники вимірюються з фіксованими інтервалами, зазвичай кожні 24 години або кілька діб, що визначаються нормативами, та безперервний контроль, при якому дані про якість електроенергії надходять постійно та аналізуються в реальному часі. Цей тип контролю здійснюється через стаціонарні прилади.

1.3. Вибір точок для контролю якості електроенергії

Пункт контролю якості електроенергії – це конкретна точка в електричній мережі, де здійснюються вимірювання показників якості електричної енергії в процесі її моніторингу. Як такі пункти можуть виступати: точка загального приєднання, межа балансової належності, виходи приймачів електроенергії або інші стратегічні точки мережі [16, 17].

У межах одного центру живлення (ЦЖ) контроль якості може проводитися на найближчих до ЦЖ та найдалших від нього точках, де здійснюється передача електричної енергії.

Розподільчі лінії класифікуються залежно від типу навантаження, що на них споживається: промислові, лінії з навантаженням комерційних, навчальних або громадських установ, а також лінії, що живлять житлові будівлі. Особливо виділяються лінії, на яких графік навантаження сильно відрізняється від типового графіка ЦЖ.

У випадку наявності претензій від споживача, пункт контролю вибирається безпосередньо на точці передачі енергії, де цей споживач має претензії. Органи державного нагляду мають право визначити пункти контролю на точках передачі енергії самостійно.

Тести на якість електричної енергії проводяться за будь-яких режимів роботи електричної мережі, окрім аварійних ситуацій та тих, що викликані непередбаченими подіями, такими як стихійні лиха, надзвичайні погодні умови, несанкціоновані дії третіх осіб (пожежі, вибухи, воєнні дії тощо), або обставинами, визначеними державними органами. Також випробування не проводяться під час обмеження споживання електроенергії.

Під час тестування в пунктах контролю необхідно забезпечити належні умови для роботи вимірювальних засобів, а також виключити можливі електромагнітні завади, що можуть вплинути на точність результатів.

Оформлення результатів випробувань на відповідність нормам якості електричної енергії здійснюється у вигляді протоколу випробувань, згідно з вимогами нормативних документів.

Під час перевірки відповідності електричної енергії встановленим стандартам якості, зокрема при проведенні арбітражних та сертифікаційних випробувань, а також під час інспекцій контролю сертифікованої електричної енергії, здійснюються безперервні вимірювання параметрів якості електроенергії протягом мінімум семи днів (7 календарних днів).

При розгляді претензій щодо якості електричної енергії тривалість безперервного вимірювання визначається угодою між мережею та споживачем, але вона не повинна бути меншою ніж один день.

Кількість відкинутих маркованих даних, які не враховуються при оцінці відповідності показників якості електричної енергії стандартам, не повинна перевищувати 5% від загальної кількості значень, усереднених за 10-хвилинні інтервали протягом кожного дня вимірювань за весь період.

1.4. Аналіз пристроїв та засобів реєстрації показників якості електричної енергії

Прилади контролю показників якості електроенергії все частіше знаходять своє місце в інструменталі служби експлуатації електроустановок. Їх використання дозволяє фіксувати та оцінювати показники якості електроенергії, вивчати властивості електричних навантажень, вимірювати енергію та потужність. Сучасний ринок надає для кінцевого споживача безліч виробників приладів контролю якості електроенергії, як вітчизняних, так і зарубіжних компаній, таких як Sonel, Metrel, Satec PM, Fluke, Elspec, Circutor та інші [18, 19].

Існує три основні виконання цих приладів: стаціонарні, переносні, комбіновані з іншим приладом (в основному з лічильником електричної енергії). Залежно від способу підключення до вимірювальних ланцюгів, прилади контролю якості електроенергії поділяються на три підгрупи: прямого включення, трансформаторного включення та універсальні. За охопленим функціоналом прилади контролю якості електроенергії поділяються на прилади для вимірювання значень показників навантажень і якості електричної енергії, аналізу та виведення звітних даних по показниках якості електроенергії, а також для реєстрації та фіксації аномальних подій.

Оцінка якості електричної енергії є важливим аспектом функціонування сучасних енергетичних систем. Для цього використовуються спеціальні пристрої, що дозволяють проводити моніторинг та аналіз параметрів електромережі. У цьому розділі представлено огляд найпоширеніших аналізаторів якості електроенергії із зазначенням їх можливих недоліків.

Одним із провідних рішень є Sonel PQM-710 (рис. 1.1). Цей прилад забезпечує високоточний аналіз параметрів електричних мереж класу А відповідно до стандарту EN 50160. Завдяки вбудованому GSM-модему та GPS-приймачу, пристрій дозволяє здійснювати віддалений моніторинг і синхронізацію часу. Проте основним недоліком є його висока вартість, що

може бути критичним для невеликих підприємств або організацій. Крім того, потребує спеціального програмного забезпечення для повноцінного аналізу даних, яке може додатково підвищити загальні витрати.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики Sonel PQM-710

Параметр	Діапазон вимірювань	Макс. роздільна здатність	Точність
Чергова напруга (TRMS)	UL-L MAX= 2000 В для UL-PE MAX = 1000 В*	4 значущі цифри	$\pm 0.1\% U_{nom}$
Коефіцієнт піку (Voltage)	1.00 ... 10.00 (≤ 1.65 для 690 В напруги)	0.01	$\pm 5\%$
Коефіцієнт піку (Current)	1.00 ... 10.00 (≤ 3.6 для I_{nom})	0.01	$\pm 5\%$
Чергова сила струму (TRMS)	Залежно від кліпси**	4 значущі цифри	$\pm 0.1\% I_{nom}$ (помилка не враховує помилку кліпси)
Частота	40.00 ... 70.00 Гц	0.01 Гц	± 0.01 Гц
Активна, реактивна, очевидна та спотворена потужність	Залежно від конфігурації	4 значущі цифри	Залежно від конфігурації
Активна, реактивна та очевидна енергія	Залежно від конфігурації (перетворювачі, кліпси)	4 значущі цифри	Як помилка потужності
cosφ та коефіцієнт потужності (PF)	-1.00 ... 1.00	0.01	± 0.03
tgφ	-10.00 ... 10.00	0.01	Залежить від помилки активної та реактивної потужності
Гармоніки та інтерахармоніки (Напруга)	DC, 1 ... 50	Як для чергової напруги True RMS	$\pm 0.05\% U_{nom}$ для m.v. < 1% U_{nom} , $\pm 5\%$ m.v. для m.v. $\geq 1\% U_{nom}$
Гармоніки та інтерахармоніки (Струм)	DC, 1 ... 50	Як для чергового струму True RMS	$\pm 0.15\% I_{nom}$ для m.v. < 3% I_{nom} , $\pm 5\%$ m.v. для m.v. $\geq 3\% I_{nom}$
THD (Тотальне гармонійне спотворення)	Напруга та струм	0.1%	$\pm 5\%$
Активна та реактивна потужність гармонік	Залежно від конфігурації (перетворювачі, кліпси)	Залежить від мінімальних значень струму та напруги	-
Кут між гармоніками струму та напруги	-180.0 ... +180.0°	0.1°	$\pm (n \times 1^\circ)$
К-фактор	1.0 ... 50.0	0.1	$\pm 10\%$
Індекс мерехтіння	0.20 ... 10.00	0.01	$\pm 5\%$
Фактор дисбалансу (Напруга та струм)	0.0 ... 20.0%	0.1%	$\pm 0.15\%$ (абсолютна помилка)
Вимірювання контрольних сигналів (Напруга)	До 15% U_{nom} при 5.00 ... 3000.00 Гц	4 значущі цифри	Не вказано для <1% U_{nom} , $\pm 0.15\%$ для 1 ... 3% U_{nom} , $\pm 5\%$ для 3 ... 15% U_{nom}



Рис. 1.1. Аналізатор Sonel PQM-710

Sonel PQM-707 (рис. 1.2) відзначається зручністю завдяки сенсорному дисплею та вбудованому акумулятору, що дозволяє використовувати його автономно. Аналізатор оснащений сенсорним дисплеєм діагоналю 7 дюймів, що забезпечує зручність керування та візуалізації даних. Однією з ключових особливостей пристрою є його автономність завдяки вбудованому акумулятору, що дає змогу виконувати вимірювання в умовах обмеженого доступу до електромережі. Цей аналізатор широко застосовується для оцінки параметрів електромереж різної конфігурації. Технічні параметри аналізатора Sonel PQM-707 наведено в таблиці 1.2.

Однак, обмежена ємність акумулятора робить його менш придатним для тривалих вимірювань у польових умовах. До того ж, як і в попередньої моделі, вартість пристрою та програмного забезпечення може стати перепоною для окремих користувачів.



Рис. 1.2. Аналізатор Sonel PQM-707

Таблиця 1.2. – Технічні характеристики Sonel PQM-707

Параметр	Діапазон вимірювання	Макс. дозвіл	Точність
Змінна напруга (TRMS)	0.0...760.0 V	4 значущих цифри	$\pm 0,5\% U_{\text{ном}}$
Крест-фактор	1.00...10.00 (≤ 1.65 for 690 V voltage)	0.01	$\pm 5\%$
Крест-фактор	1,00...10,00 ($\leq 3,6$ для 1-го номінального)	0.01	$\pm 5\%$
Змінний струм (TRMS)	залежно від затискача*	4 значущих цифри	$\pm 0,2\%$ $I_{\text{ном}}$ (похибка не враховує похибку затискача)
Частота	40,00...70,00 Гц	0,01 Гц	$\pm 0,05$ Гц
Активна, реактивна, повна та потужність спотворення	в залежності від комплектації (перетворювачі, затискачі)	4 значущих цифри	в залежності від комплектації (перетворювачі, затискачі)
Активна, реактивна та повна енергія	в залежності від комплектації (перетворювачі, затискачі)	4 значущих цифри	як помилка живлення
cosφ і коефіцієнт потужності (PF)	0.00...1.00	0.01	± 0.03
tgφ	0,00...10,00	0.01	залежить від похибки активної та реактивної потужності
Гармоніки	DC, 1...50	як для змінної напруги True RMS	$\pm 0,15\% U_{\text{ном}}$ for $mv < 3\% U_{\text{ном}}$ $\pm 5\% mv$ for $mv \geq 3\% U_{\text{ном}}$
Гармоніки	DC, 1...50	як для змінного струму True RMS	$\pm 0.5\% I_{\text{ном}}$ for $mv < 10\% I_{\text{ном}}$ $\pm 5\% mv$ for $mv \geq 10\% I_{\text{ном}}$
THD	0,0...100,0% (відносно середньоквадратичного значення)	0.1%	$\pm 5\%$
Індекс мерехтіння	0.40...10.00	0.01	$\pm 10\%$
Фактор дисбалансу	0.0...10.0%	0.1%	$\pm 0,15\%$ (абсолютна похибка)
Пусковий струм	залежно від затискача *	0,01% $V_{\text{номін}}$	$\pm 4\% mv$ for $mv \geq 10\% I_{\text{ном}}$ $\pm 4\% I_{\text{ном}}$ for $mv < 10\% I_{\text{ном}}$ (RMS $I_{1/2}$)

Серед високоточних аналізаторів виділяється Metrel MI 2885 Master Q4 (рис. 1.3), що дозволяє фіксувати перехідні процеси з високою роздільною

здатністю. Цей прилад відповідає міжнародному стандарту ДСТУ ІЕС 61000-4-30 і забезпечує високу точність вимірювань. Він має функцію реєстрації перехідних процесів із частотою вибірки 49 000 значень за секунду, що дозволяє аналізувати навіть найкоротші збурення в мережі. Крім того, пристрій оснащений інтерфейсами для дистанційного моніторингу через WiFi, LAN або GSM-зв'язок.



Рис. 1.3. Аналізатор Metrel MI 2885 Master Q4

Проте недоліком Metrel MI 2885 Master Q4 є складність інтерфейсу для початківців і обмежений обсяг пам'яті, що може вимагати частого перенесення даних на зовнішні носії. Технічні параметри аналізатора наведено в таблиці 1.3.

Ще одним цікавим рішенням є Metrel MI 2892 Power Master (рис. 1.4), який розроблений для проведення комплексного аналізу якості електроенергії. Пристрій дозволяє не лише реєструвати відхилення параметрів, але й формувати докладні звіти, які можуть використовуватися для енергетичного аудиту чи оптимізації систем електропостачання.

Таблиця 1.3. – Технічні характеристики Metrel MI 2885 Master Q4

Functions	Measuring range	Accuracy
Power (P, Q, S)	Depends on voltage and selected clamps	IEC 61557-12 Class 1
Energy	Depends on voltage and selected clamps	Active: IEC 62053-21 Class 1 Reactive: IEC 62053-23 Class 2
Harmonics (DC ... 50th) @50/60 Hz Harmonics (DC ... 20th) @VFD (5 - 16 Hz) Harmonics (DC ... 13th) @VFD (16 - 33 Hz) Harmonics (DC ... 5th) @VFD (33 - 120 Hz)	0 ... 20% of nom. voltage	IEC 61000-4-7 Class 1
Interharmonics (1 ... 50th) @ 50/60 Hz Interharmonics (1 ... 20th) @VFD (5 - 16 Hz) Interharmonics (1 ... 13th) @VFD (16 - 33 Hz) Interharmonics (1 ... 5th) @VFD (33 - 120 Hz)	0 ... 20% of nom. voltage	IEC 61000-4-7 Class 1
Flicker	0.2 ... 10	IEC 61000-4-15 Class F3
Mains signalling	0 ... 15% of nom. voltage	IEC 61000-4-30 Class S
Unbalance	Voltage: 0 ... 5% Current: 0 ... 20%	
Temperature	-10 ... 85 °C	±0.5 °C
Dips, Swell	10 ... 150% of nom. voltage	±0.2 % of nominal voltage ±1 cycle
Interrupts	0 ... 10% of nom. voltage	±1 cycle
Recorders		
Memory	8GB microSD, up to 32GB supported	
General recorder		
Integration period	1s ... 2h	
Recorded signals	> 1000 (voltages, currents, harmonics, power...) Minimal, maximal and average value per interval - Voltage events - Custom alarms	
Duration	> 1 year (depends on size of SD card)	
Waveform recorder		
Duration	Up to 20 seconds of voltage and current waveform	
Trigger	Manual, Voltage Events, Custom Alarms, Voltage or current level (Inrush), Time interval	
Transient recorder		
Sampling rate	> 49ksamples/sec	
Duration	Up to 50 cycles of voltage and current waveform	
Trigger	Manual, voltage envelope or level	

Значною слабкістю Metrel MI 2892 Power Master є висока енергозалежність, що потребує постійного доступу до джерела живлення або періодичної підзарядки.



Рис. 1.4. Аналізатор Metrel MI 2892 Power Master

Крім того, великий обсяг функціоналу може бути зайвим для користувачів, яким потрібен базовий аналіз. Технічні параметри аналізатора наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4. – Технічні параметри Metrel MI 2892 Power Master

Функції	Діапазон вимірювання	Похибка
Потужність (P, Q, S, cos ϕ , PF...)	Залежить від напруги і вибраних кліщів	IEC 61557-12 Клас 1
Енергія	Залежить від напруги і вибраних кліщів	Активна: IEC 62053-21 Клас 1 Реактивна: IEC 62053-23 Клас 2
Гармоніки (DC ... 50th) @50/60 Hz Гармоніки (DC ... 13th) @400 Hz Гармоніки (DC ... 20th) @VFD (5 - 16 Hz) Гармоніки (DC ... 13th) @VFD (16 - 33 Hz) Гармоніки (DC ... 5th) @VFD (33 - 120 Hz)	0 ... 20% номінальної напруги	IEC 61000-4-7 Клас 1
Інтергармоніки (1 ... 50th) @ 50/60 Hz Інтергармоніки (1 ... 20th) @VFD (5 - 16 Hz) Інтергармоніки (1 ... 13th) @VFD (16 - 33 Hz) Інтергармоніки (1 ... 5th) @VFD (33 - 120 Hz)	0 ... 20% номінальної напруги	IEC 61000-4-7 Клас 1
Флікер	0.2 ... 10	IEC 61000-4-15 Клас F3
Сигналізація мережі	0 ... 15% номінальної напруги	IEC 61000-4-30 Клас A
Небаланс	Напруга: 0 ... 5% Струм: 0 ... 20%	
Температура	-10 ... 85 °C	±0.5 °C
Провали, Викиди	10 ... 150% номінальної напруги	±0.2 % номінальної напруги ±1 період
Перебої	0 ... 10% номінальної напруги	±1 період
Реєстрація		
Пам'ять	8GB microSD, підтримується до 32GB	
Загальний реєстратор		
Період інтегрування	1 секунда... 2 години	
Записувані сигнали	> 1000 (напруги, струми, гармоніки, потужність...) Мін., макс. та середнє значення за інтервал - Події напруги - Індивідуальні сигнали тривоги	
Тривалість	> 1 рік (залежно від об'єму SD карти)	
Реєстратор форми сигналу		
Тривалість	До 20 секунд форми сигналу напруги та струму	
Запуск	- Ручний, події напруги, індивідуальні сигнали тривоги, рівень напруги або струму (кидок)	
Реєстратор перехідних процесів		
Частота дискретизації	> 49 кВиб./с	
Тривалість	До 50 періодів сигналу напруги та струму	
Запуск	Ручний, огинача або рівень напруги	

Не менш важливим у цьому контексті є SATEC EDL180 (рис. 1.5) – портативний аналізатор, що відповідає міжнародним стандартам класу А. Він обладнаний сенсорним дисплеєм і здатний працювати автономно протягом восьми годин завдяки вбудованому акумулятору. Цей пристрій найкраще підходить для мобільного моніторингу, зокрема для тимчасових перевірок якості електропостачання на різних об'єктах. Технічні параметри аналізатора наведено в таблиці 1.5.



Рис. 1.5. Аналізатор SATEC EDL180

Таблиця 1.5. – Технічні параметри SATEC EDL180

Блок живлення: 90-264 В змінного струму при 50-60 Гц

Акумулятор ДБЖ: акумулятор 3,7 В * 15 000 мА постійного струму. Понад 4 години повного споживання/навантаження (блок + екран RGM).

Характеристики ДБЖ:

- Вихідна напруга акумулятора 3,7 В * 3 = 11,1 В
- Захист від надмірного заряду
- Захист від перевантаження по струму
- Захист від надмірного розряду
- Захист від короткого замикання

Точність: Точність EDL180 встановлюється сумарною точністю PM180, струмових кліщів та вимірювальних трансформаторів, якщо вони використовуються.

Рекомендована температура експлуатації: 0-60°C

Вологість: від 0 до 95% без конденсації

Розміри (зі сторони передньої панелі):

Висота 190 мм, ширина 324 мм, глибина (включно з екраном RGM) 325 мм,

Вага пристрою: 4,6 кг;

Комплект, що складається з блоку приладу, сумки для транспортування з щупами для вимірювання напруги та шнуром живлення: 6,9 кг

Але SATEC EDL180 не завжди забезпечує достатню точність у складних мережах із високими гармонічними спотвореннями. Крім того, обмеження

щодо підключення зовнішніх сенсорів роблять його менш універсальним у порівнянні з іншими моделями.

Також варто згадати розробки компанії Elspec (рис. 1.6), які відзначаються інноваційним підходом до моніторингу параметрів електричної енергії. Ці пристрої забезпечують безперервну реєстрацію даних кожні 20 мілісекунд, що дозволяє фіксувати до 5000 параметрів одночасно. Завдяки такій точності та швидкості аналізатори Elspec стали популярними для проведення енергетичних аудитів.



Рис. 1.6. Аналізатор Elspec

Проте такі пристрої потребують значного обсягу пам'яті для збереження даних та високих витрат на обслуговування. Крім того, їх програмне забезпечення має обмежену сумісність із деякими системами моніторингу.

Fluke 1773 – це високоточний аналізатор якості електроенергії, призначений для вимірювання, моніторингу та аналізу параметрів електричних мереж. Цей пристрій поєднує в собі сучасні технології, зручність використання та відповідність міжнародним стандартам, що робить його оптимальним вибором для широкого кола користувачів, зокрема енергетичних компаній, промислових підприємств та технічних служб. Аналізатор Fluke 1773 забезпечує автоматичний збір даних про якість електроенергії та дозволяє швидко і точно виявляти відхилення в роботі мережі.



Рис. 1.7. Аналізатор Fluke 1773

Пристрій розроблений для відповідності стандарту ІЕС 61000-4-30 класу А, що гарантує високу точність результатів. Серед параметрів, які вимірює Fluke 1773, - напруга, струм, частота, гармонічні спотворення, а також фіксація перехідних процесів. Технічні параметри аналізатора наведено в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6. – Технічні характеристики Fluke 1773

Входи напруги	
Кількість входів	4 входи, 3 фази та нейтраль, підключена до захисного заземлення (5 роз'ємів)
Категорія виміру	1000 CAT III/600 CAT IV
Максимальна вхідна напруга	1000 В (середньоквадратичне значення)/1000 пост. струму (1700 В пік.)
Номинальний діапазон напруг	З'єднання за схемою «Зірка» та однофазна мережа: змінна напруга (50–1000 В) Схема «Трикутник»: Змінна напруга (100–1000 В) Відповідність МЕК 61000-4-30, Клас А для номінальної напруги (VDIN) 1 У
Вхідний імпеданс	10 МОм між РР та РN, 5 МОм між Р-РЕ та N-РЕ
Смуга пропуску	Від посту. струму до 30 кГц для вимірювання якості електроенергії, за винятком перехідних процесів
Дозвіл	24-бітна синхронна вибірка
Частота отримання даних	80 квиб/с при 50/60 Гц
Масштаб	1:1, змінний при використанні трансформаторів напруги

Струмові входи	
Кількість входів	4 входи, 3 фази та нейтраль, автоматичний вибір діапазону для підключеного датчика
Діапазон	Змінний струм від 1 А до 1500 А з і17XX-FLEX1500 12 від 1 А до 1500 А з і17XX-FLEX1500 24 від 3 А до 3000 А з і17XX-FLEX3000 24 від 6 А до 6000 А з і67 із затискачем і40s-EL від 4 А до 400 А із затискачем і400s-EL
	Постійний струм 20–2000 А із затискачем 80i-2010-EL
Смуга пропуску	Від посту. струму до 30 кГц
Дозвіл	24-бітна синхронна вибірка
Частота отримання даних	80 квиб/с при 50/60 Гц
Масштаб	1:1, змінний
Вхідна напруга	Затискач: 50 мВ/500 мВ (середньоквадратичне значення); CF 2,8 пояс Рогівського 15/150 мВ (середньоквадратичне значення) при 50 Гц, 18/180 мВ (середньоквадратичне значення) при 60 Гц; CF 4 все при номінальному діапазоні датчика
Вхідний імпеданс	11 ком

Вимірювання якості електроенергії	
Вимірюваний параметр	Див. посібник оператора
Гармоніки	h0 ... h50 % осн. та пор. кв. знач. для напруги, струму та потужності Фазові кути для напруги та струму до h11
Інтергармоніки	ih0 ... ih50 % осн. та пор. кв. знач. для напруги та струму
Супрагармоніки	2–9 кГц із бінами 200 Гц 9–30 кГц із бінами 2 кГц порівн. кв. знач. для напруги та струму
Метод виміру гармонік	Групи, підгрупи та одиничні біни гармонік відповідно до МЕК 61000-4-7. Метод вибирається автоматично на основі настроєного стандарту якості електроенергії або настроюється користувачем.
Загальне гармонійне спотворення	Обчислюється з використанням до 50 гармонік (залежно від обраного стандарту якості електроенергії)
Сторонні сигнали в мережі живлення	2 частоти в діапазоні від 110 до 3000 Гц

1.5. Вибір оптимального рішення

Аналізатор якості електроенергії SATEC EDL180 є високотехнологічним інструментом, розробленим для забезпечення всебічного моніторингу та аналізу параметрів електричних мереж. Його функціонал орієнтований на задоволення потреб сучасної енергетики, включаючи автоматизацію процесів, відповідність міжнародним стандартам і інтеграцію з інтелектуальними системами управління.

Головною перевагою SATEC EDL180 є його відповідність стандарту ІЕС 61000-4-30 класу А, який визначає найвищі вимоги до точності вимірювання показників якості електричної енергії. Це дозволяє використовувати прилад для задач, які потребують максимальної достовірності, таких як аудит енергетичних систем, сертифікація обладнання та дослідження впливу мережевих порушень.

Прилад має унікальну здатність аналізувати гармоніки до 63-го порядку, що є важливою характеристикою для виявлення та локалізації проблем, пов'язаних із нелінійними споживачами (інвертори, двигуни, світлодіодне освітлення тощо). Це особливо актуально в умовах сучасних промислових і комерційних мереж, де частка таких навантажень постійно зростає.

Інтеграція в розподілені системи моніторингу є ще однією сильною стороною SATEC EDL180. Прилад підтримує широкий спектр протоколів зв'язку, таких як Modbus, DNP3, ІЕС 61850, що забезпечує його сумісність з більшістю SCADA-систем та іншими рішеннями для енергетичного моніторингу. Завдяки цьому забезпечується швидка і проста інтеграція в існуючі інфраструктури підприємств.

Важливою характеристикою є об'ємна вбудована пам'ять, яка дозволяє зберігати дані за тривалий період без необхідності частого обслуговування. Це ідеально підходить для задач довготривалого моніторингу, наприклад, для аналізу сезонних змін або детального вивчення причин аварій. Додатково, підтримка інтерфейсів віддаленого доступу забезпечує зручність у роботі,

дозволяючи конфігурувати прилад, зчитувати дані та проводити аналіз без фізичної присутності на об'єкті.

В порівнянні з іншими сучасними приладами, такими як Sonel PQM-710, Metrel MI 2892 або Metrel MI 2885, SATEC EDL180 демонструє більш високу універсальність та функціональність. Наприклад, на відміну від Sonel PQM-710, який орієнтований переважно на вимірювання стандартних параметрів у промислових мережах, SATEC EDL180 пропонує розширений набір можливостей для глибокого аналізу мережевих порушень, включаючи запис осцилограм та детальний аналіз перехідних процесів. У порівнянні з Metrel MI 2892, який також має високий клас точності, SATEC EDL180 забезпечує кращу інтеграцію з сучасними автоматизованими системами.

Ще одним важливим фактором є надійність і довговічність SATEC EDL180. Прилад спроектований для роботи в складних умовах, включаючи високі та низькі температури, вологість та наявність електромагнітних завад. Це дозволяє його використання в енергетичних системах різного масштабу – від локальних об'єктів до великих промислових підприємств та розподільчих мереж.

Таким чином, SATEC EDL180 є оптимальним вибором для задач моніторингу якості електроенергії завдяки своїй точності, багатофункціональності, широким можливостям інтеграції та адаптивності до різних умов експлуатації. У порівнянні з іншими розглянутими моделями, цей прилад виділяється як найкраще рішення для тих, хто прагне отримати максимально повний контроль над якістю електричної енергії та забезпечити стабільність роботи енергетичних систем..

1.6. Висновки до розділу

У розділі розглянуто основні завдання контролю якості електричної енергії, його види, а також засоби реєстрації показників якості. Визначено важливість забезпечення стабільності та надійності електропостачання.

Оцінено сучасні пристрої та системи моніторингу, які дозволяють точно вимірювати параметри якості енергії. Зроблено вибір оптимальних рішень для покращення контролю якості, що сприятиме підвищенню ефективності енергетичних систем та збереженню ресурсів.

Після аналізу характеристик, переваг і недоліків розглянутих пристроїв можна дійти висновку, що найкращим вибором для комплексного аналізу якості електроенергії є SATEC EDL180. Цей пристрій поєднує високу точність, можливість реєстрації перехідних процесів та надійний інтерфейс для дистанційного моніторингу. Його функціонал дозволяє виконувати широкий спектр завдань, що робить його ідеальним для підприємств із підвищеними вимогами до якості електропостачання. Хоча вартість пристрою є досить високою, вона повністю виправдана його можливостями та якістю. Таким чином, SATEC EDL180 є оптимальним рішенням для аналізу якості електричної енергії, здатним забезпечити надійний моніторинг, відповідність міжнародним стандартам та розширений функціонал.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

2.1. Дослідження архітектури розподіленої інформаційно-вимірювальної системи для моніторингу якості електричної енергії

Інформаційно-вимірювальна система (ІВС) для аналізу якості електричної енергії є комплексом взаємопов'язаних технічних пристроїв і засобів вимірювання, що реалізують процеси вимірювання фізичних величин, які характеризують якість електричної енергії. Ці системи забезпечують автоматичне або автоматизоване отримання даних про змінні величини, що спостерігаються протягом часу і в просторі, та дозволяють оцінити різноманітні параметри, які визначають якість енергопостачання. Головним завданням такої системи є забезпечення точного збору, обробки, зберігання та передачі вимірювальної інформації. Вона включає в себе кілька основних етапів: взаємодію первинних вимірювальних перетворювачів (сенсорів) з об'єктом вимірювання для збору вихідної інформації, перетворення вимірних даних з необхідною точністю та забезпечення їх зберігання для подальшої обробки.

Інформаційно-вимірювальна система для контролю якості електроенергії використовує складну архітектуру (рис. 2.1), що включає численні підсистеми, кожна з яких виконує свою функцію для забезпечення точності та надійності вимірювань. Вимірювальний комплекс складається з різних датчиків і приладів, що безпосередньо вимірюють фізичні величини, необхідні для оцінки якості енергопостачання. Підсистема збору даних відповідає за збирання й передачу вимірювальних результатів до системи обробки. Для синхронізації вимірювань використовується система забезпечення єдиного часу, що гарантує точність часових міток для всіх процесів вимірювання. Крім того, важливу роль відіграє система управління базою даних (СУБД), яка забезпечує ефективне зберігання й обробку великих обсягів даних, отриманих

від різних вимірювальних пристроїв. Усі ці компоненти пов'язані з web-сервером і користувацьким інтерфейсом, які дозволяють оператору отримувати доступ до даних та здійснювати необхідний моніторинг та аналіз показників якості електричної енергії.



Рис. 2.1. Архітектура досліджуваної інформаційно-вимірювальної системи для моніторингу якості електричної енергії

Архітектура такої системи дає змогу здійснювати високоточні вимірювання та забезпечує швидку обробку і аналіз даних, що особливо важливо для своєчасного виявлення можливих відхилень від норм якості електричної енергії, що постачається.

Вимірювальний комплекс є системою, що складається з трансформаторів струму та напруги, аналізатора якості електричної енергії та електричних ланцюгів, що з'єднують ці елементи.

Підсистема збору даних є програмно-апаратним комплексом, який забезпечує інтеграцію вимірювальних пристроїв в інформаційну систему. Для передачі даних на фізичному рівні використовується протокол RS-485, що підтримує асинхронний інтерфейс. На прикладному рівні передачі даних застосовується відкритий комунікаційний протокол, побудований за архітектурою "головний-підлеглий" (master-slave), а саме Modbus RTU. Одну

з можливих схем фізичного підключення пристроїв цієї підсистеми можна побачити на рисунку 2.2.

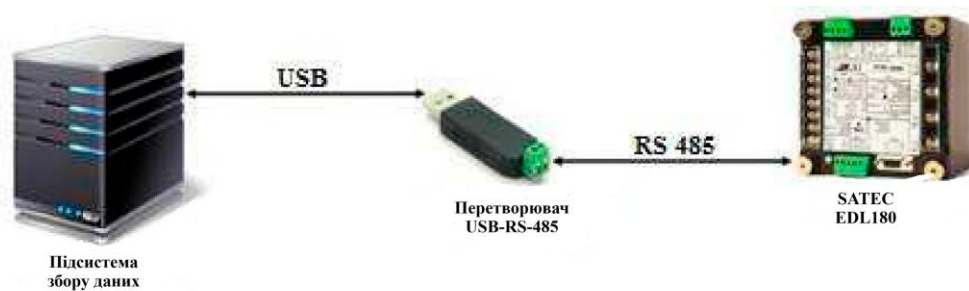


Рис. 2.2. Схема фізичного підключення пристроїв

Реалізація підсистеми збору даних здійснена за допомогою графічної мови «G» у середовищі LabVIEW. Це програмне середовище є оптимальним для програмування завдань вводу-виводу та обробки сигналів, що не потребують надвисокої швидкості обробки. Використання LabVIEW має численні переваги: велика кількість готових бібліотек для інтеграції вимірювальних пристроїв і програмного забезпечення, потужна математична бібліотека для обробки даних, а також наявність драйверів для взаємодії з LabVIEW від провідних виробників вимірювального обладнання.

Підсистема збору даних ініціює запити на отримання інформації від аналізаторів якості електричної енергії через визначені, налаштовувані інтервали часу, які встановлюються на сервері ІВС. Після отримання показників від приладу підсистема проводить первинну обробку даних і активує процеси взаємодії з системою управління базами даних (СУБД), де створюються таблиці для збереження інформації. Для забезпечення доступу підсистеми збору даних до СУБД застосовувалося програмне інтерфейсне підключення через ODBC, з використанням UDL для налаштування з'єднання (рис. 2.3).

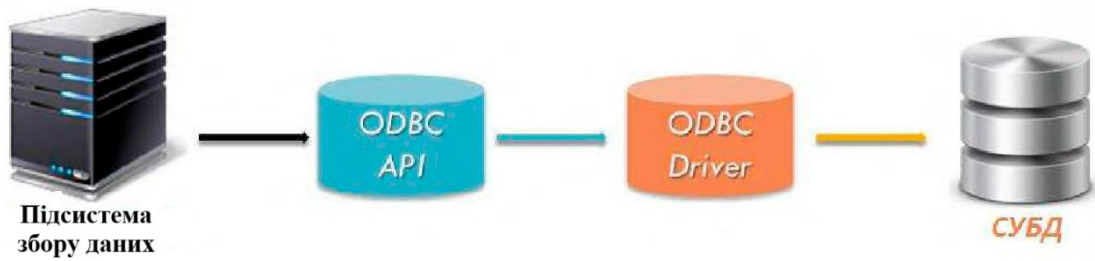


Рис. 2.3. Схема зв'язку середовища LabVIEW із СУБД

В інформаційно-вимірювальній системі для управління базами даних застосовується реляційна СУБД MySQL. Ця система вирізняється своєю універсальністю, що досягається завдяки підтримці широкого спектра типів таблиць, відкритій архітектурі, кросплатформеній сумісності та використанню ліцензії GPL, яка сприяє вільному поширенню і адаптації програмного забезпечення.

2.2. Складання схеми включення SATEC EDL180 в мережу

Основною функцією SATEC EDL180 є вимірювання ключових параметрів, які визначають якість електричної енергії.

Портативний реєстратор подій і даних EDL180 (рис. 2.4) призначений для вимірювання, запису та аналізу параметрів електричної мережі. Цей мобільний пристрій побудований на основі PM180 і використовується для аналізу якості електроенергії, діагностики роботи електричного обладнання та електроустановок. Завдяки своїй портативності, EDL180 дозволяє оперативно виявляти проблеми з електроживленням безпосередньо на місці використання, що значно підвищує ефективність аналізу.

Пристрій відповідає вимогам для широкого спектра застосувань – від аналізу подій до проведення енергоаудитів, включаючи запис профілю навантаження протягом певного часу. EDL180 включає всі можливості аналізатора якості електричної енергії PM180, але у компактному портативному вигляді. Програмне забезпечення PAS, доступне в Інтернеті,

забезпечує графічне відображення даних з можливістю глибокого аналізу якості електроенергії.

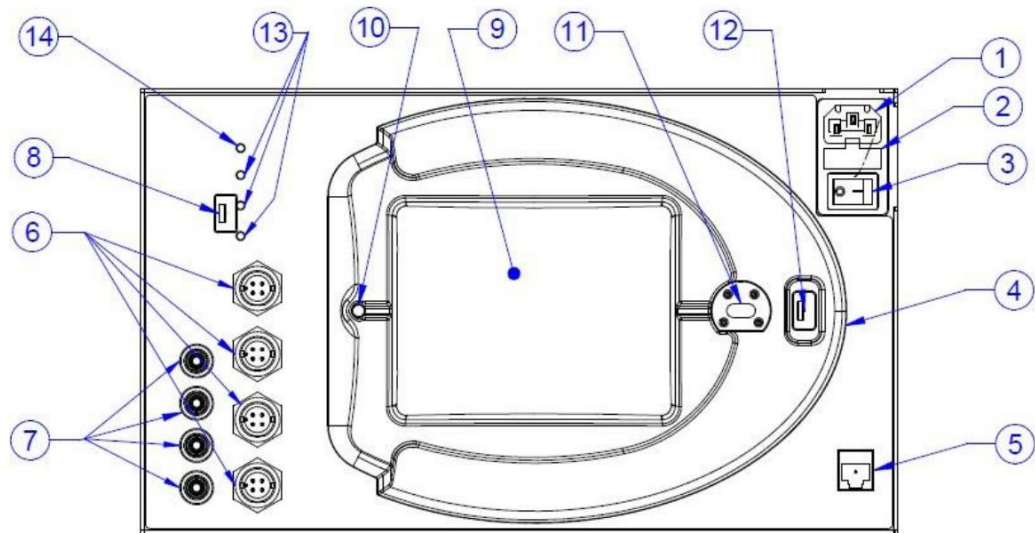


Рис. 2.3. Передня панель EDL180: 1 – розетка джерела живлення змінного струму; 2 – запобіжник; 3 – вимикач живлення; 4 – дисплейний модуль RGM; 5 – порт Ethernet; 6 – входи струмових кліщів; 7 – входи напруги; 8 – порт USB-A; 9 – екран; 10 – імпульсний світлодіод енергії; 11 – ІЧ порт; 12 – порт USB-A; 13 – світлодіодні індикатори рівня заряду батареї; 14 – індикатор стану зарядки ДБЖ

Пристрій дозволяє проводити прямі вимірювання напруги до 828 В змінного струму, з можливістю підключення вимірювальних трансформаторів напруги для роботи з більшими значеннями. EDL180 може бути оснащений гнучкими струмовими сенсорами FLEX (поясами Роговського) з діапазоном номінальних струмів від 30 до 3000 А змінного струму, а також струмовими кліщами для вимірювання до 200 А.

Завдяки внутрішньому джерелу безперебійного живлення, EDL180 забезпечує понад 4 години роботи навіть при відсутності зовнішнього живлення, наприклад, у разі загального збої в електричній мережі.

Схема підключення вимірювальних ланцюгів до приладу контролю якості електроенергії показана на рисунку 2.5.

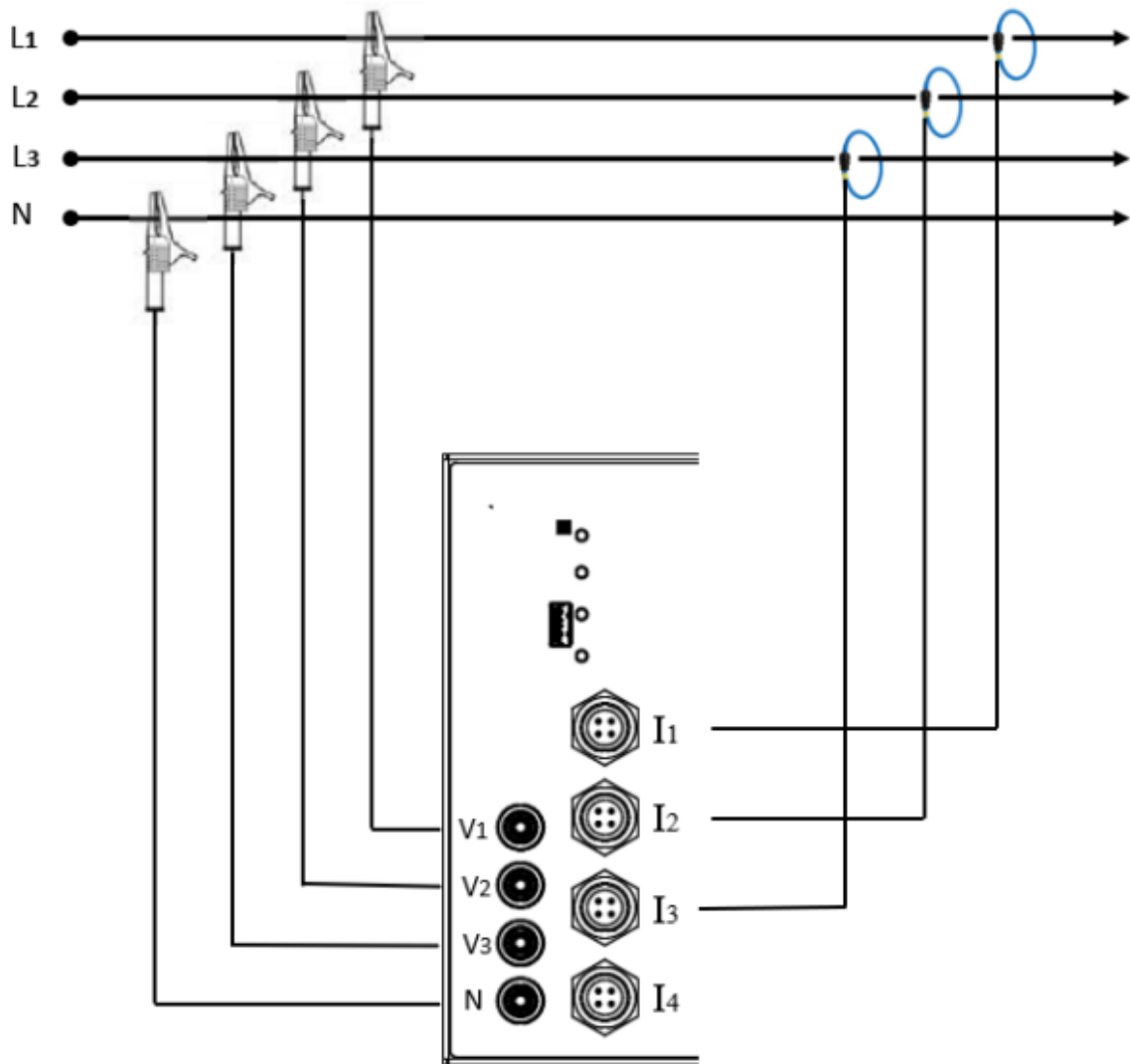


Рис. 2.5. Чотирипровідне пряме підключення SATEC EDL180, реалізоване у форматі триелементної схеми, що передбачає використання трьох струмових датчиків

2.3. Методика дослідження показників якості електричної енергії за допомогою SATEC EDL180

Методика дослідження показників якості електричної енергії за допомогою аналізатора SATEC EDL180 включає комплекс заходів, спрямованих на вимірювання та аналіз параметрів електричної мережі. Основними етапами дослідження є підготовка обладнання, підключення аналізатора до мережі, налаштування параметрів вимірювання, збір даних та їх аналіз.

На першому етапі здійснюється підготовка аналізатора SATEC EDL180, що включає перевірку його технічного стану, цілісності кабелів та правильності калібрування. Далі визначаються точки підключення в електричній мережі, де будуть здійснюватися вимірювання, що дає змогу охопити усі необхідні параметри для аналізу.

На другому етапі виконується підключення аналізатора до мережі. Підключення здійснюється згідно з інструкцією виробника, із забезпеченням надійного контакту вимірювальних кабелів і дотриманням правил техніки безпеки. Після підключення перевіряється правильність відображення показників струму, напруги та інших параметрів на екрані пристрою.

На третьому етапі задаються параметри вимірювання: частота вибірки, тривалість вимірювання, а також встановлюються порогові значення для основних показників якості електроенергії (гармонічні спотворення, коливання напруги, частоти тощо). Аналізатор конфігурується для автоматичного збереження результатів досліджень.

Четвертий етап передбачає проведення вимірювань і моніторинг стану мережі. Аналізатор SATEC EDL180 автоматично реєструє показники якості електроенергії, включаючи напругу, струм, частоту, гармоніки, кут зсуву фаз, а також інші параметри, що характеризують роботу мережі.

На завершальному етапі здійснюється обробка отриманих даних, формування звітів та інтерпретація результатів. Аналізатор SATEC EDL180 дозволяє експортувати дані у формати, зручні для подальшого аналізу, що полегшує ідентифікацію відхилень від нормованих значень та прийняття рішень щодо оптимізації роботи мережі.

2.3. Опис об'єкту для аналізу якості електричної енергії

Як об'єкт дослідження було обрано базу практики, зокрема, офісне приміщення ГО «Можливість твого розвитку», яке розташоване за адресою м. Суми, вул. Максима Березовського, 43 (рис. 2.6).

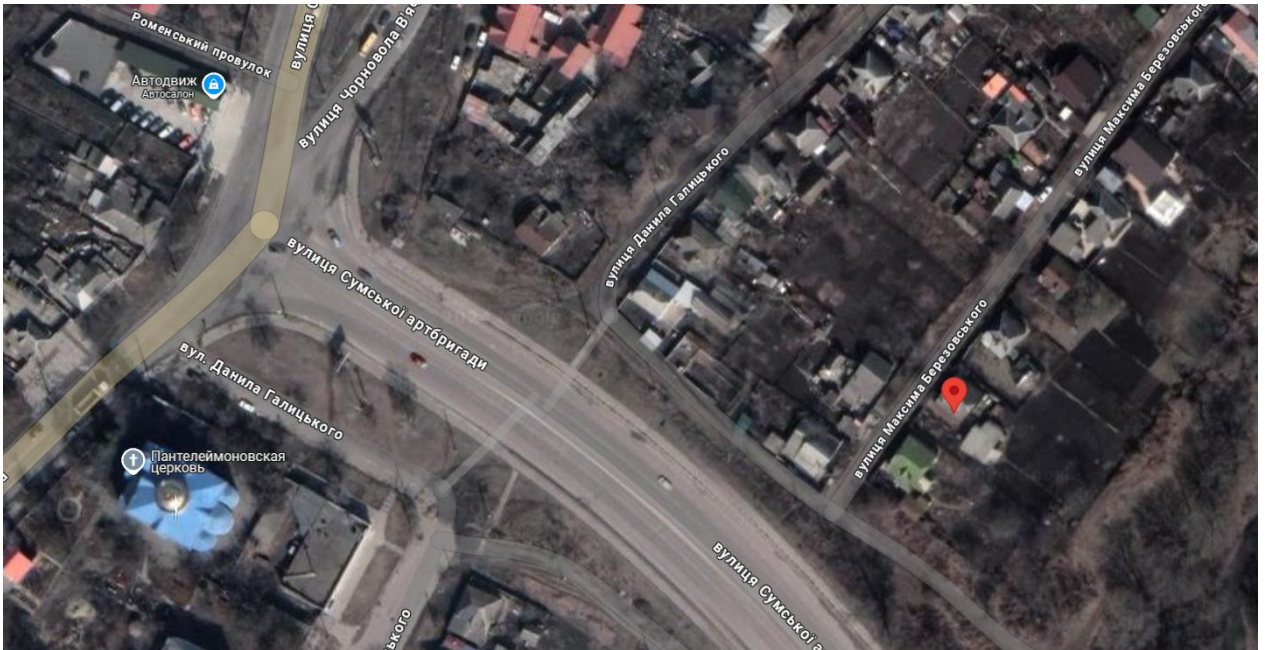


Рис. 2.6. Розташування офісного приміщення ГО «Можливість твого розвитку»

Офісний центр розташований у сучасній споруді, зведеної у 2004 році. Електроживлення споживачів забезпечується двома трансформаторами, кожен з яких має потужність 630 кВА. Перемикання джерел живлення організовано на розподільчій підстанції, розташованій поруч із будівлею.

Основна частина навантаження представлена однофазними споживачами, нерівномірно розподіленими між фазами. Така ситуація спричиняє фазний дисбаланс напруги, підвищені струми у нейтральному провіднику та, відповідно, експлуатаційні проблеми. Зокрема, експлуатаційна служба зафіксувала передчасний знос нейтрального провідника, пошкодження контактних з'єднань, а також його значне нагрівання при високих навантаженнях.

Будівля оснащена системою припливно-витяжної вентиляції, у всіх офісних приміщеннях встановлено спліт-системи кондиціонування. Крім того, використовуються численні комп'ютери, офісна техніка, світлодіодне та люмінесцентне освітлення як у приміщеннях, так і на прилеглому парковці.

Для контролю показників якості електроенергії в офісній будівлі, що має два поверхи, були встановлені прилади моніторингу на приєднаннях 0,4 кВ: на вводі до будівлі.

Режим роботи будівлі триває з 07:00 до 22:00, хоча більшість дотримується стандартного графіка – з 08:00 до 18:00. Це призводить до різких змін у споживанні електроенергії: суттєве підвищення спостерігається о 8:30 після початку робочого дня та значне зниження – після 18:00, коли завершуються роботи.

При зростанні навантаження споживачів інколи спостерігається незначне просідання напруги. Проте сучасне обладнання підстанції та електропроводка розподільної мережі, виконана згідно з діючими стандартами, забезпечують стабільність параметрів напруги в межах допустимих 10%. У ході спостережень суттєвих відхилень напруги чи перенапруг не було виявлено.

Упродовж робочого дня постійно функціонують такі споживачі, як персональні комп'ютери, монітори, оргтехніка, системи освітлення та вентиляції. За потреби включаються нагрівальні прилади чи кондиціонери, особливо в спекотний період.

Після завершення роботи більшість обладнання переходить у режим очікування, знижуючи загальне енергоспоживання. Однак системні блоки залишаються увімкненими цілодобово. У нічний час у приміщеннях працює чергове освітлення.

2.4. Аналіз показників якості електричної енергії на вводі офісного приміщення

На рисунку 2.7 зображено графік зміни навантаження на ввіді в офісну будівлю громадської організації. Аналіз отриманих графіків показує виражену асиметрію розподілу навантаження між фазами. Середнє навантаження у фазі А перевищує показники інших фаз приблизно на 50%. Струм у нейтральному

провіднику виявляється на 25–50% більшим за максимальні значення струмів у фазах.



Рис. 2.7. Графіки фазних струмів протягом тижня 29.08-05.09.2024 року

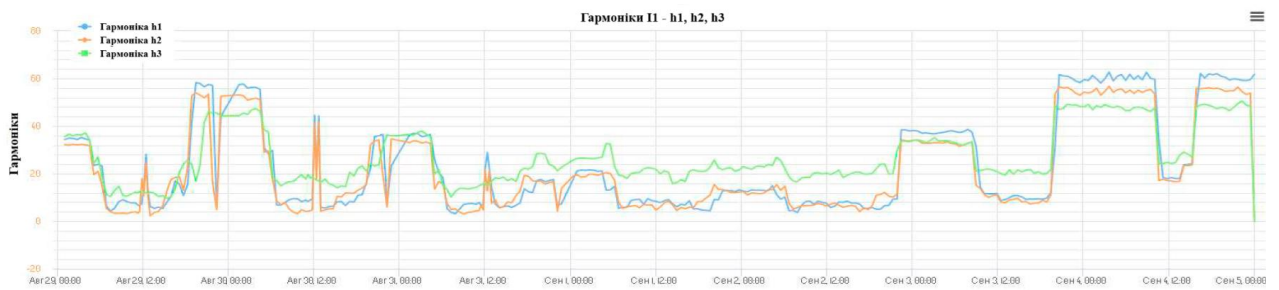
Графік фазних напруг, виміряних протягом тижня 29.08-05.09.2024 року, зображений на рисунку 2.8.



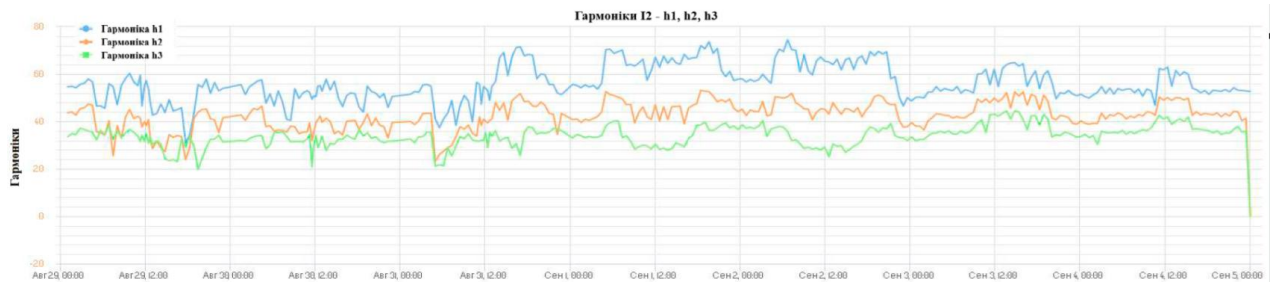
Рис. 2.8. Графіки фазних напруг протягом тижня 29.08-05.09.2024 року

Аналіз даних рис. 2.8 показує характерні зміни напруги, зокрема її зниження при зростанні потужності навантаження. Найбільш вираженими є різкі коливання напруги у вечірній час, пов'язані з виконанням сервісних робіт системи вентиляції. Також помітна асиметрія між фазними напругами. Протягом періоду спостереження перенапруги та значні провали напруги не фіксувалися, а всі параметри залишалися в межах встановлених норм [3, 4].

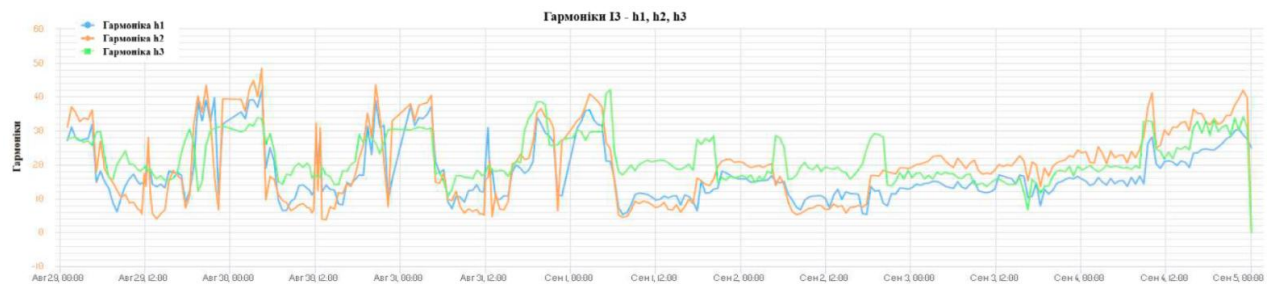
На рисунку 2.9 показано графік, який демонструє рівень гармонік у фазних струмах. На основі проведених вимірювань виявлено значне перевищення гармонічних складових, що в деяких випадках досягає 50%, що значно перевищує допустимі межі, встановлені нормативами [3, 4].



а)



б)



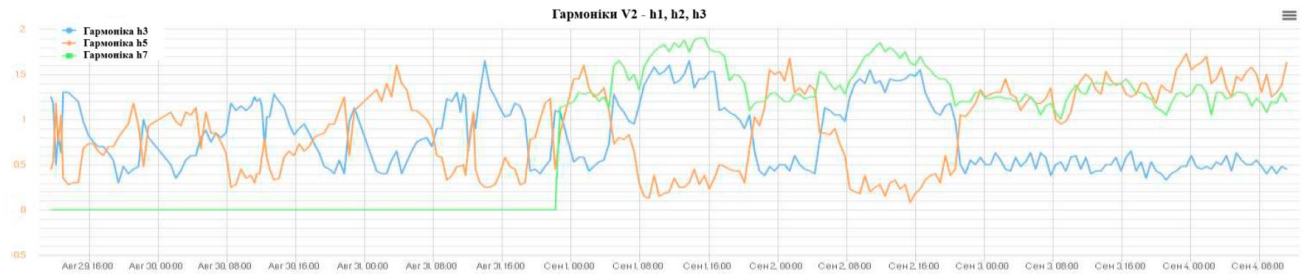
в)

Рис. 2.9. Графік гармонік №3, №5 та №7 фазних струмів офісного приміщення: а) – фаза А; б) фаза Б; в) – фаза С

На рисунку 2.10 зображено гармонічні складові фазних напруг. Коефіцієнти 3, 5 та 7 гармонік перебувають у межах нормативно дозволених значень [3, 4]. Прямолінійний сегмент 7-ї гармоніки на лівій частині графіка є результатом порушення цілісності реєстрації даних (помилка приладу під час фіксації подій).



а)



б)



в)

Рис. 2.10. Графік гармонік №3, №5 та №7 фазних напруг офісного приміщення: а) – фаза А; б) фаза Б; в) – фаза С

На рис. 2.11 та рис. 2.12 наведено результати вимірювання спектрального складу фазних струмів та напруг відповідно при максимальному навантаженні в мережі. Як видно із отриманих графіків, при максимальному навантаженні спостерігається наявність гармонік під номерами 3, 5 та 7.



а)



б)



в)

Рис. 2.11. – Діаграми спектрального складу фазних струмів:

а) – фаза А; б) фаза Б; в) – фаза С



а)



б)



в)

Рис. 2.12. – Діаграми спектрального складу фазних напруг:

а) – фаза А; б) фаза Б; в) – фаза С

2.5. Розробка рекомендацій щодо покращення якості електричної енергії

Покращення якості електричної енергії є надзвичайно важливим аспектом для забезпечення стабільної та ефективної роботи електричних мереж і технічних систем, а також для зниження витрат енергії, покращення надійності та тривалості служби обладнання. Якість електричної енергії визначається кількісними та якісними параметрами електричної напруги, такими як рівень напруги, частота, симетрія навантаження, а також рівень гармонічних складових у сигналу. Тому основними завданнями покращення якості електричної енергії є забезпечення стабільності параметрів напруги, підтримання симетрії навантаження та зменшення впливу гармонік [18, 19].

Одним із основних аспектів покращення якості електричної енергії є стабілізація напруги, що дозволяє уникнути перепадів, які можуть негативно впливати на роботу електричних пристроїв і систем. Застосування стабілізаторів напруги та систем управління дозволяє підтримувати напругу на рівні, який відповідає вимогам стандартів для різних типів навантажень. Крім того, для більш точного контролю за рівнем напруги можна використовувати трансформатори з регулюванням, що дозволяють коригувати напругу в межах заданих параметрів. Особливо важливою є корекція напруги для чутливих до її змін обладнань, таких як комп'ютерні системи, лабораторне обладнання, медичні пристрої.

Іншою важливою проблемою є забезпечення симетрії навантаження між фазами в багатофазних електричних системах. Нерівномірний розподіл навантаження між фазами може призвести до перегріву електричних проводів, трансформаторів, а також може створювати додаткові енергетичні втрати. Це особливо важливо для промислових підприємств та великих споживачів електричної енергії, де рівномірний розподіл навантаження дозволяє забезпечити більш ефективну роботу електричних установок. Для досягнення симетрії навантаження застосовуються різні методи, серед яких регулярне

вимірювання та моніторинг фазних струмів з подальшою корекцією навантаження на відповідні фази. Це дозволяє зберегти оптимальну роботу системи та уникнути аварійних ситуацій.

Наявність гармонік у системах електропостачання є серйозною проблемою, оскільки вони можуть викликати нелінійні спотворення напруги та струму, що спричиняє підвищення рівня втрат енергії, перегрів обладнання, порушення нормальної роботи чутливих до частоти пристроїв. Гармоніки виникають внаслідок використання нелінійних споживачів енергії, таких як електронні прилади, комп'ютерна техніка, варіатори частоти, а також унаслідок роботи трансформаторів, що працюють в умовах навантаження з великою кількістю гармонічних складових. Для зменшення впливу гармонік використовуються різні методи, зокрема пасивні та активні фільтри гармонік. Пасивні фільтри гармонік зазвичай складаються з індуктивних та ємнісних елементів, які спрямовані на зменшення рівня гармонічних складових на певних частотах. Активні фільтри гармонік є більш складними, але більш ефективними, оскільки вони здатні адаптуватися до змінюваних умов навантаження і зменшувати вплив гармонік на ширшому діапазоні частот.

Завдяки застосуванню фільтрів, а також пристроїв корекції коефіцієнта потужності, можна значно знизити рівень гармонічних спотворень у мережі та забезпечити нормальні умови для роботи електричних систем. Важливою складовою є також впровадження методів активного управління якістю енергії, що включає використання спеціалізованих систем моніторингу і управління. Такі системи дозволяють оперативно реагувати на порушення в електричних мережах, таких як зміни в напрузі, перевищення рівня гармонік чи нерівномірний розподіл навантаження, та здійснювати необхідні коригувальні дії. Вони також дозволяють проводити аналіз і прогнозування поведінки мережі, що сприяє зниженню ризиків аварійних ситуацій і підвищенню надійності електропостачання.

Впровадження системи моніторингу якості електричної енергії має значний вплив на ефективність роботи електричних мереж та устаткування.

Система дозволяє забезпечити постійний контроль за параметрами електричної енергії, що включає моніторинг рівня напруги, частоти, симетрії навантаження та рівня гармонік. Це дає можливість оперативно виявляти порушення, своєчасно вживати заходів для їх корекції та підтримувати оптимальні умови для роботи електричних пристроїв і систем.

Однією з основних переваг є можливість отримання детальної інформації про стан мережі в реальному часі. Це дозволяє своєчасно реагувати на коливання напруги чи зміну інших параметрів, що можуть призвести до неполадок або зниження ефективності роботи обладнання. У разі виявлення відхилень система може автоматично ініціювати відповідні коригувальні дії, такі як активація стабілізаторів напруги чи фільтрація гармонік. Це значно знижує ризик виникнення аварійних ситуацій або виходу з ладу техніки.

Впроваджена система також надає можливість зберігати історичні дані про стан енергетичних параметрів, що є корисним для проведення аналізу роботи системи за певний період. Це дозволяє виявляти тренди, на основі яких можна приймати рішення щодо оптимізації навантаження, поліпшення ефективності енергоспоживання та планування профілактичних заходів.

Завдяки системі моніторингу також можна здійснювати точну оцінку рівня гармонік у мережі, що дозволяє не тільки зменшити вплив цих спотворень на обладнання, але й оптимізувати енергоспоживання. Такі дані є важливими для виявлення джерел гармонік і вжиття заходів для їх усунення. Зокрема, це дозволяє зменшити втрати енергії, уникнути перегріву елементів мережі та знизити енергетичні витрати.

Завдяки наявності такої системи, з'являється можливість покращити якість електричної енергії на всіх етапах її споживання, від електричних мереж до кінцевих споживачів. Це сприяє не тільки підвищенню надійності енергопостачання, але й забезпеченню більш стійкої та ефективної роботи всієї енергетичної інфраструктури.

2.6. Висновки до розділу

У даному розділі було здійснено комплексне дослідження роботи інформаційно-вимірювальної системи для моніторингу якості електричної енергії, зокрема розглянуто архітектуру розподіленої системи, методи та пристрої для вимірювання показників якості електричної енергії, а також проведено детальний аналіз даних на прикладі конкретного об'єкта. Особлива увага була приділена використанню пристрою SATEC EDL180, який виявився ефективним інструментом для моніторингу ключових параметрів якості електричної енергії, таких як рівень напруги, частота, гармоніки та симетрія навантаження. За допомогою цього приладу була побудована схема включення в мережу, що дозволяє здійснювати точні вимірювання та збір даних.

Методика дослідження, розроблена в межах цього розділу, дала змогу ефективно оцінити показники якості електричної енергії на вводу в офісне приміщення, виявити можливі порушення та оцінити їх вплив на роботу обладнання. Аналіз показників дозволив сформулювати рекомендації щодо покращення якості електричної енергії, зокрема шляхом корекції гармонік, стабілізації напруги та симетризації навантаження, що позитивно позначиться на надійності і довговічності електричних систем.

Отже, результати дослідження підтвердили важливість інтеграції сучасних вимірювальних систем для моніторингу якості електричної енергії, що дозволяє оперативно виявляти проблеми та своєчасно вживати заходів для покращення умов експлуатації енергетичних мереж та обладнання. Розроблені рекомендації сприяють підвищенню ефективності енергоспоживання та стабільності роботи електричних систем у різних галузях.

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

Організація охорони праці при роботі з системами моніторингу якості електричної енергії. Організація охорони праці при роботі з системами моніторингу якості електричної енергії є важливою складовою безпеки праці на підприємстві. Планування охорони праці повинно включати розробку детальних заходів для забезпечення безпеки на всіх етапах роботи з електричними системами, включаючи моніторинг і контроль якості електричної енергії. Це вимагає координації між різними підрозділами підприємства, щоб забезпечити ефективне виконання заходів, передбачених нормативними актами та стандартами [20, 21].

Фінансування заходів з охорони праці передбачає виділення необхідних коштів на придбання спеціального обладнання, навчання персоналу, закупівлю засобів індивідуального захисту та проведення профілактичних заходів. Умови колективного договору повинні містити розділ, присвячений охороні праці, де вказуються права та обов'язки працівників і роботодавця в цій сфері, а також заходи для забезпечення безпечних умов праці.

Організація навчання є важливою частиною системи охорони праці. Вона включає наявність спеціальних програм навчання для працівників, інструкцій з охорони праці, журналів реєстрації інструктажів, а також протоколів атестації. Навчання персоналу повинно бути систематичним і охоплювати всі аспекти безпеки при роботі з моніторингом якості електричної енергії.

Забезпечення працівників спецодягом та засобами індивідуального захисту є обов'язковим елементом для зниження ризику травмувань. Спецодяг повинен відповідати вимогам безпеки та бути зручним для використання в умовах роботи з електричними системами. Також важливо забезпечити працівників санітарно-побутовими умовами, включаючи місця для відпочинку, гарячого харчування та санітарні кімнати.

Відповідальність посадових осіб за організацію охорони праці полягає в контролі за виконанням заходів безпеки, регулярним проведенням інструктажів, атестацій та перевірок стану охорони праці на робочих місцях. Кожен керівник повинен забезпечити належний рівень безпеки, а також відповідати за порушення правил охорони праці в межах своєї компетенції. [20, 21].

Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при роботі з системами моніторингу якості електричної енергії. При роботі з системами моніторингу якості електричної енергії існує кілька шкідливих та небезпечних факторів, які можуть негативно вплинути на здоров'я та безпеку працівників. Першим і найважливішим з них є електричний струм. Навіть невеликі розряди можуть призвести до серйозних травм або смерті, якщо не будуть вжиті належні заходи безпеки, такі як заземлення обладнання та використання засобів індивідуального захисту.

Іншим важливим фактором є вплив електромагнітних випромінювань. Під час роботи з обладнанням, що здійснює моніторинг якості електричної енергії, можуть виникати електромагнітні поля, які при тривалому впливі на організм можуть спричиняти порушення в роботі серцево-судинної та нервової системи. Для запобігання цього ризику необхідно використовувати засоби екранування та дотримуватися вимог щодо допустимих рівнів випромінювань.

Шум і вібрація також можуть бути небезпечними факторами. Оскільки багато систем моніторингу працюють з великими потужностями або в умовах високих навантажень, створення додаткового шуму та вібрацій є неминучим. Це може призвести до стомлення, порушень слуху або серцево-судинних захворювань у працівників. Для зменшення цього ризику використовуються спеціальні шумоізоляційні матеріали та засоби захисту слуху.

До того ж, працюючи з електричним обладнанням, працівники можуть зіткнутися з хімічними небезпеками, особливо під час роботи з акумуляторами або іншими джерелами енергії, що використовуються в системах моніторингу.

У випадку аварійних ситуацій можливі витoki шкідливих речовин, таких як кислотні розчини, що можуть спричинити опіки або отруєння. Для мінімізації цих ризиків застосовуються відповідні матеріали для герметизації і системи вентиляції, а також використання спеціальних засобів індивідуального захисту.

Важливим аспектом є також втомлюваність працівників через тривалу роботу з комп'ютерною технікою, що є складовою частиною систем моніторингу. Це може призвести до порушень зору, проблем з опорно-руховим апаратом або нервовими розладами. Регулярні перерви, ергономічно налаштовані робочі місця та правильне освітлення допомагають знизити вплив цих факторів.

Таким чином, аналіз шкідливих та небезпечних факторів при роботі з системами моніторингу якості електричної енергії дозволяє виявити ключові ризики та вжити необхідних заходів для їх мінімізації, щоб забезпечити безпечні умови праці для всіх залучених працівників.

Рекомендації щодо впровадження безпечних умов праці при роботі з системами моніторингу якості електричної енергії. Впровадження безпечних умов праці при роботі з системами моніторингу якості електричної енергії вимагає комплексного підходу, який охоплює як організаційні, так і технічні заходи. Одним із основних кроків є розробка та впровадження системи управління охороною праці, що включає чітке визначення відповідальності за безпеку на кожному етапі роботи. Необхідно забезпечити належне навчання та інструктаж працівників, що включають специфічні інструкції з охорони праці для роботи з електричними системами, а також регулярні перевірки знань працівників.

Крім того, важливо приділяти увагу ефективному плануванню і фінансуванню заходів з охорони праці. Всі необхідні ресурси мають бути виділені на закупівлю спеціального обладнання, засобів індивідуального захисту, а також на проведення необхідних технічних заходів для мінімізації ризиків, пов'язаних з електричними та електромагнітними випромінюваннями.

Це включає встановлення заземлення, захист від перенапруг та використання екранів для зниження рівня випромінювань.

Для забезпечення безпеки працівників повинні бути розроблені та реалізовані заходи для зменшення ризиків, пов'язаних з шумом і вібрацією, які можуть виникати під час роботи з моніторинговими системами. Встановлення шумоізоляційних матеріалів, використання засобів захисту слуху, а також впровадження правил щодо тривалості робочих змін дозволяє значно знизити рівень шкідливого впливу на організм.

Особливу увагу слід приділити забезпеченню працівників необхідними засобами індивідуального захисту, такими як спеціальний одяг, рукавички, захисні окуляри та засоби для роботи в умовах електричних небезпек. Це дозволить зменшити ймовірність травмування в разі аварійних ситуацій. Також необхідно організувати постійну перевірку та обслуговування цих засобів для підтримки їх у належному стані.

Для забезпечення надійної роботи систем моніторингу важливим є контроль за технічним станом обладнання, регулярне проведення планово-попереджувальних ремонтів і перевірок. Застосування сучасних засобів автоматизації для моніторингу стану систем дозволяє оперативно реагувати на будь-які відхилення та своєчасно вжити заходів для усунення потенційних небезпек.

Висновки до розділу. Впровадження безпечних умов праці при роботі з системами моніторингу якості електричної енергії є критично важливим для забезпечення безпеки працівників та ефективної роботи підприємств. Необхідно застосовувати комплексний підхід, що включає належну організацію навчання, використання засобів індивідуального захисту, регулярне технічне обслуговування та контроль за виконанням нормативних вимог, що дозволить мінімізувати ризики, пов'язані з електричними небезпеками, електромагнітними випромінюваннями, шумом і вібрацією, та забезпечить здорові й безпечні умови праці для всіх залучених працівників.

4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Встановлення системи моніторингу якості електричної енергії для офісного приміщення має значний економічний потенціал, який полягає в зниженні витрат на енергоспоживання, поліпшенні ефективності експлуатації електричних пристроїв, зниженні витрат на технічне обслуговування і продовженні терміну служби обладнання. Оскільки електрична енергія є основним ресурсом для більшості офісних приміщень, де використовуються різноманітні електронні пристрої та системи, ефективний контроль за її якістю може призвести до помітних економічних вигод [21, 22].

Однією з основних економічних переваг є зниження витрат на енергоспоживання. Система моніторингу дозволяє виявити неефективне споживання енергії, що часто виникає через коливання напруги, частоти або сплесків. Якщо, наприклад, в офісному приміщенні відбуваються часті перепади напруги або несправності в електричних мережах, це може призвести до перевитрат електричної енергії, що в свою чергу відображається на рахунках за електроенергію. Встановлення системи моніторингу дозволяє не лише виявляти ці аномалії в режимі реального часу, а й оперативно вжити заходів для їх усунення. Це може знизити витрати на електроенергію на 10-15%, особливо якщо система інтегрована з автоматичними регуляторами енергоспоживання [23].

Іншою значною вигодою є зниження витрат на ремонт та заміну електричних пристроїв. Коли якість електричної енергії погіршується (наприклад, через нестабільну напругу або імпульсні перешкоди), це може призвести до поломки електронного обладнання, яке часто потребує дорогого ремонту або навіть заміни. Завдяки системі моніторингу, можна вчасно виявляти такі проблеми, знижуючи ризик пошкодження чутливих компонентів офісної техніки (наприклад, комп'ютерів, серверів, кондиціонерів). Це дозволяє значно зменшити витрати на ремонт та обслуговування обладнання, що може забезпечити економію до 20% [24].

До того ж, регулярний моніторинг допомагає збільшити термін служби техніки. Електронні пристрої часто працюють у стресових умовах через часті коливання напруги або енергетичні перевантаження, що може скоротити їхній ресурс. За допомогою системи моніторингу можна уникнути цих проблем, що призводить до подовження терміну служби обладнання на 10-15%. Таким чином, система моніторингу не лише знижує витрати на ремонти, але й дозволяє відстрочити необхідність закупівлі нового обладнання, що може суттєво зменшити капітальні витрати [25].

Додатково, система моніторингу може допомогти знижувати витрати на енергію в пікові години, коли тариф на електроенергію зазвичай вищий. Якщо система виявляє пікові навантаження або збої в електричній мережі, вона може запропонувати оптимізовані стратегії енергоспоживання або навіть автоматично знижувати навантаження в ці години. Це дозволяє зменшити витрати на енергію, уникнути надмірних платежів і оптимізувати використання електричних пристроїв.

Крім того, наявність такої системи може підвищити загальну ефективність роботи офісу. Наприклад, стабільне електроживлення дозволяє електронним пристроям працювати на максимальному рівні ефективності, що сприяє підвищенню продуктивності. Це може допомогти досягти покращення енергоефективності обладнання на 5-10%, що, у свою чергу, знижує витрати на енергію без необхідності в додаткових інвестиціях у нові технології.

Висновки до розділу. В цілому, встановлення системи моніторингу якості електричної енергії забезпечує не лише значні економічні переваги, але й допомагає підвищити ефективність енергоспоживання, продовжити термін служби обладнання і знизити витрати на ремонтні роботи. Ці переваги можуть значно покращити фінансові показники підприємства, сприяючи збереженню ресурсів і зменшенню витрат на енергоспоживання.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У результаті проведеного дослідження системи моніторингу якості електричної енергії в мережах 0,4 кВ можна зробити кілька важливих висновків. Перше, контроль якості електричної енергії є важливим елементом забезпечення ефективної роботи електричних мереж та споживання енергії. Друге, існують різноманітні методи контролю якості електричної енергії, включаючи моніторинг електричних параметрів, таких як напруга, частота, симетрія фаз, що дозволяє виявити порушення та вживати необхідних заходів. При цьому важливим є вибір оптимальних пристроїв для реєстрації та аналізу даних, що відповідають вимогам системи та специфіці мережі.

Особливу увагу слід приділити вивченню інформаційно-вимірювальних систем, таких як SATEC EDL180, які використовуються для моніторингу якості електричної енергії в реальному часі. Розробка схем включення таких пристроїв у мережу дозволяє ефективно проводити аналіз показників та приймати рішення щодо покращення якості енергії. У ході дослідження на конкретному прикладі, аналіз показників якості електричної енергії на вводі офісного приміщення продемонстрував важливість своєчасного виявлення відхилень від нормативів, що дозволяє запобігти негативним наслідкам для обладнання та знизити ризики аварійних ситуацій.

Рекомендації щодо покращення якості електричної енергії включають вдосконалення систем моніторингу, застосування новітніх засобів автоматизації для контролю за параметрами енергопостачання, а також оптимізацію схем підключення обладнання для зменшення втрат енергії та підвищення стабільності роботи мережі.

В цілому, дослідження підкреслює необхідність інтеграції сучасних технологій моніторингу якості енергопостачання для забезпечення стабільної та ефективної роботи енергетичних мереж.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Руденко, Д. М., Савойський, О. Ю. (2024). Щодо необхідності здійснення моніторингу якості електроенергії в мережах 0,4 кВ. Інноваційні технології в Індустрії 5.0: Збірник тез за матеріалами 30-ої міжнародної науково-практичної конференції (21-23 жовтня 2024 р.). Ч.2., Суми: СНАУ, 67-68.
2. Руденко, Д. М., Савойський, О. Ю. (2024). Оцінка та контроль якості електричної енергії в мережах 0,4 кВ. Інноваційні технології в Індустрії 5.0: Збірник тез за матеріалами 30-ої міжнародної науково-практичної конференції (21-23 жовтня 2024 р.). Ч.2., Суми: СНАУ, 74-75.
3. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності (EN 50160:2010, IDT). Інститут електродинаміки Національної Академії наук України. Чинний від 01.10.2014.
4. ПУЕ: 2017 Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х.: Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.
5. СОУ-Н ЕЕ 40.1-37471933-54:2011. Визначення технологічних втрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання. Київ. Міністерства енергетики та вугільної промисловості України № 399 від 21.06.2013.
6. Popa, G. N. (2022). Electric Power Quality through Analysis and Experiment. *Energies*, 15(21), 7947. <https://doi.org/10.3390/en15217947>.
7. Heydt, G. (2005). Electric Power quality. In Elsevier eBooks. <https://doi.org/10.1016/b978-012170960-0/50059-1>.
8. Johnson, D. O. (2016). Issues of power quality in electrical systems. *International Journal of Energy and Power Engineering*, 5(4), 148. <https://doi.org/10.11648/j.ijepe.20160504.12>.
9. Jain, S., Agarwal, P., & Gupta, H. O. (2004). A control algorithm for compensation of Customer-Generated harmonics and reactive power. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 19(1), 357–366. <https://doi.org/10.1109/tpwrd.2003.820191>.
10. Кузнецов, В. Г., Шполянський, О. Г., & Яремчук, Н. А. (2013). Узагальнений показник якості енергії в електричних мережах і системах. Технічна

електродинаміка, 3, 46–52.

11. Ванько, В. М., & Столярчук, П. Г. (2012). Проблеми контролю якості електроенергії в електричних мережах. Вимірювальна техніка та метрологія, 58, 47–56.

12. Бунько, В. Я. (2017). Підвищення параметрів електричної енергії в мережах 0,4 кВ на основі оптимальної компенсації реактивної потужності. Електромеханічні та енергетичні системи. Методи моделювання та оптимізації: збірник наукових праць XV Міжнар. наук.-техн. конф, Кременчук, 95–96.

13. Омельчук, А. О., & Скрипник, А. М. (2013). Зниження технологічних витрат електроенергії в розподільних електричних мережах. Енергетика і автоматика, 4, 61–73.

14. ГНД 34.09.104-2003 Методика складання структури балансу електроенергії в електричних мережах 0,38 - 150 кВ, аналізу його складових і нормування технологічних витрат електроенергії (із змінами, внесеними наказом МПЕ України від 03.02.2009 № 52).

15. Шкрабець, Ф. П., Куваєв, Ю. В., Ципленков, Д. В., & Красовський, П. Ю. (2015). Класифікація і структура втрат електроенергії. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету, 3(32), 122–124.

16. Krasovskiy, P., Tsyplenkov, D., & Nesterova, O. (2013). Operating dynamics of parameters and technical losses in the components of power supply systems. Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems, London: Taylor & Francis Group, 113–119.

17. Лежнюк, П. Д., Кулик, В. В., & Пашенко, А. В. (2015). Особливості розрахунку втрат електроенергії в мережах 0.38, кВ. Вісник Вінницького політехн. ін-ту, 3, 43 – 50

18. Styslo, B., Danylchenko, D., Fedorchuk, S., Ivakhnov, A., Dryvetskyi, S. (2024). Analysis of Methods for Improving the Quality of Electrical Energy Through the Use of Energy Storage Systems. In: Babak, V., Zaporozhets, A. (eds) Systems, Decision and Control in Energy VI. Studies in Systems, Decision and Control, vol 552. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-67091-6_3

19. Meeks, R. C., Omuraliev, A., Isaev, R., & Wang, Z. (2023). Impacts of electricity quality improvements: Experimental evidence on infrastructure investments. *Journal of Environmental Economics and Management*, 120, 102838. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2023.102838>.

20. Закон України "Про охорону праці" від 14 жовтня 1992 р. (Редакція станом на 20.01.2018).

21. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. ДНПАОП 0.00–1-1.21-98. К.: АТ «Київська книжкова фабрика».

22. Журило, І. В., & Полтавець, М. М. (2017). Економіка та організація виробництва: Методичні вказівки до вивчення курсу для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Кропивницький: ЦНТУ.

23. Tian-Qing, S., Xiao-Hua, W., & Ma, X. (2009). Relationship between the economic cost and the reliability of the electric power supply system in city: A case in Shanghai of China. *Applied Energy*, 86(10), 2262–2267. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.12.008>.

24. Ghiasi, M. (2019). Technical and economic evaluation of power quality performance using FACTS devices considering renewable generations. *Renewable Energy Focus*, 29, 49–62. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2019.02.006>.

25. Conrado, B. R., De Souza, W. A., Liberado, E. V., Paredes, H. K., Brandao, D. I., & Moreira, A. C. (2022). Towards technical and economic feasibility of power quality compensators. *Electric Power Systems Research*, 216, 109020. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.109020>.

ДОДАТКИ