

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«17» листопада 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Такварелі Артуру Вячеславовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Методи віддаленого мережевого моніторингу і керування електричними системами фермерського господарства

Керівник роботи Лецишин Юрій Зіновійович, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 14 » листопада 2025 року № 4/7-987

2. Термін подання студентом завершеної роботи 16 грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи дослідження методів та засобів ефективного віддаленого мережевого моніторингу і керування електричними системами фермерського господарства

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1 Аналіз існуючих методів моніторингу електричних систем фермерського господарства

2 Методи та засоби віддаленого мережевого моніторингу електричними системами

3 Побудова та тестування комп'ютерної системи моніторингу електричними системами

4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Висновки

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

1. Актуальність і мета дослідження.

2. Завдання, об'єкт і предмет, наукова новизна і практична цінність дослідження.

3. Огляд систем

4. Аналіз методів

5. Структурна схема

6. Алгоритм

7. Тестування

8. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>Осухівська Г.М., зав.каф. КС</i>	<i>04.12.2025</i>	
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>			

7. Дата видачі завдання 17.11.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Огляд літературних джерел. Постановка завдання на кваліфікаційну роботу.</i>	<i>17.11.2025р. – 23.11.2025р.</i>	<i>Викон.</i>
2.	<i>Методи та засоби віддаленого мережевого моніторингу і керування електричними системами.</i>	<i>24.11.2025р. – 02.12.2025р.</i>	<i>Викон.</i>
3.	<i>Побудова та тестування комп'ютерної системи моніторингу і керування електричними системами</i>	<i>03.12.2025р. – 10.12.2025р.</i>	<i>Викон.</i>
4.	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>04.12.2025р. – 10.12.2025р.</i>	<i>Викон.</i>
5.	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>11.12.2025р. – 19.12.2025р.</i>	<i>Викон.</i>
6.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи магістра</i>	<i>16.12.2025р.</i>	<i>Викон.</i>
7.	<i>Захист кваліфікаційної роботи магістра</i>	<i>26.12.2025р.</i>	<i>Викон.</i>

Студент

(підпис)

Такварелі А. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Лецишин Ю.З.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Такварелі А. В. Методи віддаленого мережевого моніторингу і керування електричними системами фермерського господарства: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія / наук. кер. Лещишин Ю.З. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025.

Ключові слова: комп'ютерна система, моніторинг, MQTT, LoRaWAN, вбудована система, STM32.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню методів віддаленого мережевого моніторингу і керування електричними системами фермерського господарства. За результатами аналізу існуючих методів мережевого моніторингу визначено найбільш поширені і затребувані методи обміну інформації. Обґрунтовано використання безпроводних мереж і проводових протоколів забезпечує оптимальний баланс між дальністю, пропускнуою здатністю, енергоспоживанням та економічною ефективністю, що є критично важливим для комплексного моніторингу та керування електричними системами фермерського господарства.

Розроблено алгоритм роботи комп'ютерної системи моніторингу і керування електричними системами. Отримано характеристики імовірності помилково отримання символів від відношення сигнал / шум, показують незначне відхилення від характеристик отриманих за результатами симуляції.

ANNOTATION

Takvareli A. V. Methods of remote network monitoring and control of electrical systems in a farm enterprise. Master's Graduation Thesis: speciality 123 — Computer engineering / supervisor Leshchyshyn Yu.Z. Ternopil: Ternopil Ivan Pulyk National Technical University, 2025.

Keywords: computer system, monitoring, MQTT, LoRaWAN, embedded system, STM32.

The Master's graduation thesis is devoted to the study of methods for remote network monitoring and control of electrical systems of a farm. Based on the results of the analysis of existing network monitoring methods, the most common and popular methods of information exchange have been identified. It is substantiated that the use of wireless networks and wired protocols provides an optimal balance between range, bandwidth, energy consumption and economic efficiency, which is critically important for comprehensive monitoring and control of electrical systems of a farm.

An algorithm for the operation of a computer system for monitoring and control of electrical systems has been developed. The characteristics of the probability of erroneously receiving symbols from the signal / noise ratio have been obtained, showing a slight deviation from the characteristics obtained from the simulation results.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА	11
1.1 Аналіз систем електроспоживання фермерського господарства	11
1.2 Аналіз існуючих комп'ютерних систем моніторингу виробництва та споживання електроенергії.....	12
1.3 Система моніторингу Victron VRM.....	14
1.4 Система моніторингу SMA Sunny Portal.....	16
1.5 Система моніторингу ThingsBoard	17
1.6 Система моніторингу OpenEnergyMonitor.....	18
1.7 Система моніторингу Schneider Microgrid Advisor.....	20
1.8 Перспективні технології систем моніторингу електромереж фермерського господарства.....	23
1.9 Висновки до розділу 1.....	24
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВІДДАЛЕНОГО МЕРЕЖЕВОГО МОНІТОРИНГУ І КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМИ СИСТЕМАМИ.	25
2.1. Сучасні проводові і безпроводні протоколи зв'язку для моніторингу і керування електричними системами	25
2.2. Взаємодія протоколів зв'язку з промисловим обладнанням для моніторингу і керування електричними системами	27
2.3. Порівняння проводових протоколів зв'язку для моніторингу і керування електричними системами	28
2.3.1 Область застосування протоколу Modbus RTU.	28
2.3.2 Область застосування протоколу CAN.	30
2.3.3. Порівняння Modbus RTU та CAN.....	31

2.4. Порівняння безпроводних протоколів зв'язку для моніторингу і керування електричними системами.	33
2.4.1 Порівняння безпроводних протоколів зв'язку різного радіусу.....	33
2.4.2 Архітектура та область застосування протоколу LoRaWAN	37
2.4.3 Архітектура та область застосування протоколу Zigbee.....	38
2.5. Висновки до розділу 2.....	40
РОЗДІЛ 3 ПОБУДОВА ТА ТЕСТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ І КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМИ СИСТЕМАМИ	42
3.1. Побудова структури комп'ютерної системи моніторингу і керування електричними системами	44
3.2. Обґрунтування апаратної платформи для побудови комп'ютерної системи моніторингу і керування електричними системами	40
3.3. Побудова електричної схеми комп'ютерної системи моніторингу і керування електричними системами	49
3.4. Побудова алгоритму роботи комп'ютерної системи моніторингу і керування електричними системами	51
3.5. Побудова програми роботи комп'ютерної системи моніторингу і керування електричними системами	56
3.6. Тестування комп'ютерної системи моніторингу і керування електричними системами.....	58
3.6 Висновки до розділу 3.....	61
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	63
4.1 Охорона праці	48
4.2. Основи фізіології праці й комфортних умов життєдіяльності. Класифікація основних форм діяльності людини.....	65
ВИСНОВКИ	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	70
Додаток А Тези конференцій	
Додаток Б Скрипт програми	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

CAN — Controller Area Network

DMA — Direct Memory Access (прямий доступ до пам'яті)

I2C — Inter-Integrated Circuit (послідовна шина даних)

LoRaWAN — Long Range Wide Area Network

MQTT — Message Queuing Telemetry Transport

Modbus — це відкритий, стандартизований промисловий протокол зв'язк

RTOS — Real-Time Operating System (операційна система реального часу)

SF — коефіцієнта розкиду в протоколі LoRaWAN

SPI — Serial Peripheral Interface

UART — Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

XBee — безпроводний меш протокол

АЦП — аналого цифровий перетворювач

ВСТУП

Актуальність роботи. Розвиток аграрного сектору потребує впровадження інноваційних технологій, що підвищують ефективність виробничих процесів, зменшують експлуатаційні витрати та підвищують надійність систем. Одним із таких напрямів є застосування методів віддаленого мережевого моніторингу та керування електричними системами фермерського господарства. В умовах зростання енергоспоживання, підвищення вартості електроенергії та необхідності забезпечення безперервної та безпечної роботи технічних систем фермерських підприємств, питання оптимізації енергетичного менеджменту стають надзвичайно важливими. Впровадження мережевого моніторингу та керування дозволяє не лише зменшити ризики аварійних відключень, а й суттєво підвищити економічну та екологічну ефективність діяльності господарства.

Таким чином, дослідження методів віддаленого мережевого моніторингу і керування електричними системами є актуальним, оскільки воно сприяє: підвищенню надійності та безпеки електропостачання; оптимізації енергоспоживання та зниженню витрат; покращенню оперативного контролю за технічним станом обладнання; впровадженню сучасних цифрових рішень в аграрному секторі.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення методів та засобів ефективного віддаленого мережевого моніторингу і керування електричними системами фермерського господарства.

Завдання кваліфікаційної роботи:

- проаналізувати існуючі методи і засоби мережевого моніторингу і керування електричними системами;
- визначити методи віддаленого мережевого моніторингу і керування електричними системами;
- визначити ефективні методи і засоби віддаленого моніторингу на основі вимог до поширеного промислового обладнання та побудувати комп'ютеризовану систему моніторингу;

— розробити алгоритм та програмне забезпечення для реалізації віддаленого мережевого моніторингу і керування електричними системами фермерського господарства.

Об'єкт дослідження: процес обміну інформацією в системі віддаленого мережевого моніторингу і керування електричними системами фермерського господарства.

Предмет дослідження: методи віддаленого мережевого моніторингу і керування електричними системами фермерського господарства.

Методи дослідження. У роботі використано методи теорії кодування та передачі інформації для побудови ефективної системи передачі даних, та методи криптографії для захисту інформації при передаванні її каналами зв'язку.

Наукова новизна одержаних результатів. Отримав подальший розвиток метод оцінювання характеристики імовірності помилкового отримання символів, для визначення надійності каналу зв'язку, що дозволяє оцінити ефективність і стійкість каналу зв'язку в різних умовах та при різних налаштуваннях параметрів передачі даних.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновані методи та розроблена система має гнучку архітектуру по взаємодії із промисловим обладнанням, що оснащено як проводовим так і безпроводним зв'язком, і забезпечує надійний моніторинг і керування системами фермерського господарства.

Публікації. Результати дослідження апробовано на XIV міжнародній наук.-техн. конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» та на XIII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя [1-2].

Структура роботи. Робота складається з пояснювальної записки та графічної частини. Пояснювальна записка складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

1.1. Аналіз систем електроспоживання фермерського господарства

Режим електроспоживання фермерського господарства потребує всебічне дослідження структури електричних навантажень, режимів роботи обладнання та ефективності використання енергоресурсів для забезпечення стабільної, безпечної й економічно оптимальної роботи аграрного підприємства. Фермерські господарства характеризуються різноманітними споживачами електроенергії — від насосних станцій, систем поливу, вентиляційних установок, до холодильного обладнання, доїльних апаратів, зерносушарок, систем освітлення, блоків автоматики та інженерної інфраструктури. Такий широкий спектр обладнання формує нерівномірний графік навантажень, який залежить від сезону, типу вирощуваної продукції, погодних умов та специфіки технологічних процесів. Тому одним із ключових завдань аналізу є визначення пікових і середніх навантажень, оцінка їхньої тривалості та впливу на мережу, що дозволяє правильно обрати джерела живлення, трансформаторне обладнання, кабельні лінії та системи захисту.

Важливим етапом є дослідження енергоефективності, яке включає аналіз коефіцієнта завантаження електродвигунів, коректної роботи систем автоматичного регулювання, рівня втрат у мережі та доцільності застосування енергоощадних технологій. У сільському господарстві особливо значною є частка двигунів і насосів, тому аналіз частотного керування, режимів запуску й механічних навантажень є критично важливим. Також враховуються можливості використання власних джерел енергії — сонячних електростанцій, дизельних генераторів, акумуляторних систем та гібридних енергетичних комплексів для підвищення автономності та зменшення залежності від мережі.

Додаткову увагу приділяють якості електроенергії, оскільки фермерське обладнання чутливе до провалів напруги, перенавантажень і пускових струмів.

Аналіз гармонік, асиметрії фаз, коливань напруги та реактивної потужності дозволяє підвищити надійність роботи установок, знизити ризики аварій та втрат продукції. Не менш важливим є дослідження системи захисту, заземлення, блискавкозахисту й автоматизації, що забезпечує безпеку персоналу та обладнання.

Сучасні фермерські господарства усе частіше впроваджують системи моніторингу й дистанційного керування, що дозволяє аналізувати електроспоживання в реальному часі, прогнозувати навантаження, виявляти несправності та оптимізувати витрати. Комплексний аналіз електроспоживання не лише підвищує ефективність використання енергоресурсів, а й створює основу для довгострокового планування розвитку інфраструктури, модернізації обладнання та впровадження сучасних енергоощадних технологій у фермерському виробництві.

1.2. Аналіз існуючих комп'ютерних систем моніторингу виробництва та споживання електроенергії

Існує багато типів комп'ютерних систем моніторингу виробництва та споживання електроенергії — від побутових до промислових і національних. Їх класифікують за призначенням і об'єктом затсосування.

1. Побутові та комерційні системи, які призначені для моніторингу сонячних станцій, акумуляторів і споживання будинку.

- Victron VRM (Energy Monitor + Power Management)
- SolarEdge Monitoring Platform
- Enphase Enlighten
- Huawei FusionSolar
- Growatt Shine / OSS
- SMA Sunny Portal / Sunny Home Manager
- Bluetti / EcoFlow / Zendure Power OS

2. Промислові SCADA та EMS-системи, що використовуються на підстанціях, промислових об'єктах, фабриках, електростанціях.

- Siemens SIMATIC WinCC / PCS7

- ABB SCADA (MicroSCADA, Symphony Plus)
- Schneider EcoStruxure Power Monitoring Expert
- Siemens EnergyIP EMS
- Schneider EcoStruxure Energy Management
- ABB Ability Energy Management Suite

3. Системи моніторингу для ВДЕ (сонячні та вітрові парки). Спеціалізовані рішення для генерації:

- SMA Sunny Portal (Utility Scale)
- Kaco Powador-web
- ABB Aurora Vision

4. Системи для енергетичних компаній та мереж (Smart Grid / DSO / TSO)

- Siemens Spectrum Power
- GE Grid Solutions EMS/ADMS
- Schneider ADMS
- ABB Network Manager

5. Платформи IoT/Cloud для моніторингу енергії, це гнучкі системи для аналізу потоків даних з датчиків.

- ThingsBoard (у т.ч. українського походження)
- Google Cloud Energy Analytics
- Grafana + InfluxDB (DIY системи моніторингу)
- AWS IoT Energy Monitoring
- Azure IoT Energy Suite

6. Відкриті та Open-Source системи, для лабораторій, університетів і DIY-проектів.

- OpenEnergyMonitor (emonCMS)
- Home Assistant + енергометри (Shelly, Sonoff, PZEM)
- OpenEMS (від Fraunhofer ISE)
- OpenDSS (modelling & monitoring)

7. Спеціалізовані системи для мікромереж (Microgrid EMS)

- Schneider Microgrid Advisor

- Siemens Microgrid Management
- ETAP Microgrid EMS
- Homer Energy (Microgrid optimization)

Для розуміння масштабів цих комп'ютерних систем та технологій які перспективно використовувати для побудови системи моніторингу для фермерського господарства, проаналізуємо деякі з них.

1.3. Система моніторингу Victron VRM

Система моніторингу Victron VRM — це хмарна система моніторингу та віддаленого керування енергетичними установками від Victron Energy. Вона дозволяє через онлайн-портал або мобільний застосунок контролювати роботу інверторів, контролерів заряду, акумуляторних систем та іншого обладнання Victron. У VRM можна переглядати всі основні параметри системи в реальному часі — напругу акумуляторів, струм, рівень заряду, навантаження, виробіток сонячних панелей та інші показники, а також аналізувати історичні графіки і статистику роботи за будь-який період. Система підтримує віддалене налаштування пристроїв (через GX-пристрій), забезпечує сповіщення про аварії, помилки або втрату зв'язку, що робить її зручною для постійного контролю та діагностики. Для роботи з VRM потрібен пристрій серії GX — наприклад Cerbo GX чи Venus GX — який підключається до інтернету та передає всі дані в хмару. Така система використовується в домашніх сонячних електростанціях, автономних оф-грид рішеннях, на яхтах, у кемперах та промислових енергоустановках, забезпечуючи повний і зручний моніторинг енергосистеми з будь-якого місця.

Система VRM працює, отримуючи дані від енергетичних пристроїв Victron (інверторів/зарядних пристроїв MultiPlus, контролерів заряду SmartSolar, моніторів батарей BMV, системних контролерів Lynx тощо) через спеціалізований комунікаційний пристрій.

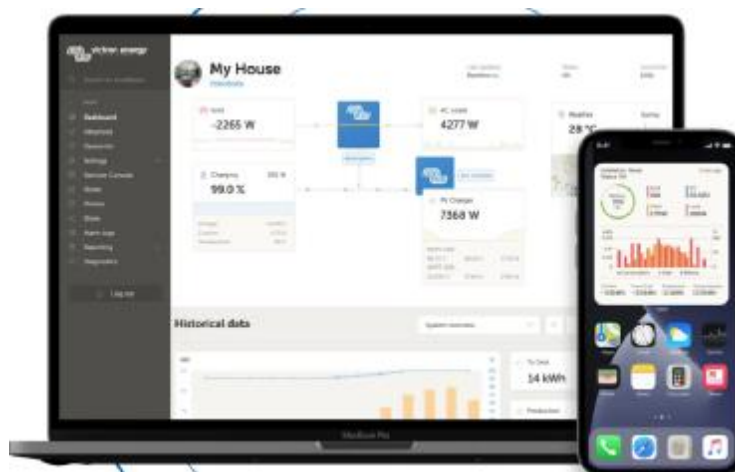


Рис. 1.1. Комп'ютерна система моніторингу Victron VRM

Ключовий елемент системи це центральний комунікаційний хаб Cerbo GX або Color Control GX. Він збирає дані про напругу, струм, потужність, стан заряду батареї та енергетичний потік від усіх підключених пристроїв Victron. Цей пристрій підключається до Інтернету (через Ethernet, Wi-Fi або GSM-модем) і регулярно, зазвичай кожні 15 хвилин або в режимі реального часу, надсилає зібрану інформацію на захищені сервери VRM. Після цього користувач отримує доступ до цих даних через веббраузер або мобільний додаток VRM.

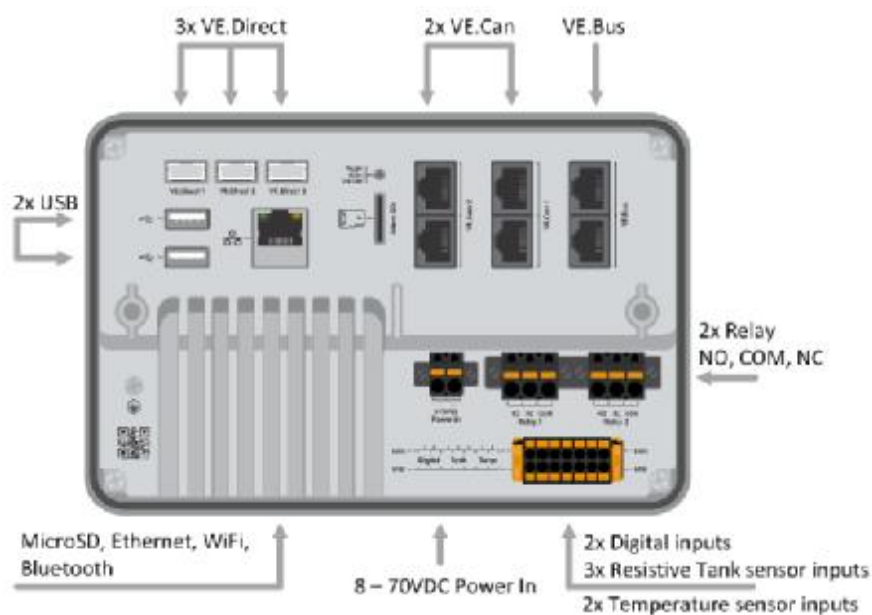


Рис. 1.2. Центральний комунікаційний хаб Cerbo GX

Центральний комунікаційний хаб Cerbo GX містить лише проводові приєднання до датчиків і виконавчих пристроїв, зовнішня комунікація виконується через проводовий Ethernet або безпроводний WiFi близького радіусу дії, тобто система моніторингу Victron VRM розрахована на роботу в межах невеликого господарства, де всі системи централізовані.

1.4. Система моніторингу SMA Sunny Portal

Система моніторингу SMA Sunny Portal — це хмарна система моніторингу та керування сонячними електростанціями, розроблена німецькою компанією SMA Solar Technology AG. Платформа дозволяє власникам та операторам СЕС відстежувати роботу інверторів і всі ключові параметри генерації: виробіток електроенергії, напругу, струм, стан обладнання, ефективність і можливі помилки. Через вебінтерфейс або мобільний застосунок користувач може переглядати дані в реальному часі, аналізувати історичні графіки, порівнювати продуктивність за різні періоди та отримувати автоматичні повідомлення про несправності чи відхилення в роботі системи. Sunny Portal підтримує як домашні, так і великі комерційні або промислові сонячні станції, забезпечуючи надійний централізований контроль за обладнанням SMA незалежно від місця розташування користувача.



Рис. 1.3. Комп'ютерна система моніторингу SMA Sunny Portal

Комп'ютерна система моніторингу Sunny Portal підтримує як домашні, так і

великі комерційні або промислові сонячні станції, забезпечуючи надійний централізований контроль за обладнанням SMA незалежно від місця розташування користувача.

1.5. Система моніторингу ThingsBoard

Система моніторингу ThingsBoard — це відкрита платформа Інтернету речей, призначена для збору, обробки, візуалізації та керування телеметричними даними від різних пристроїв, датчиків і промислових систем. Платформа ThingsBoard підтримує масштабовану архітектуру та дозволяє будувати централізовані системи моніторингу, аналітики й автоматизації як для невеликих проєктів, так і для великих підприємств. Вона забезпечує приймання даних через різні протоколи (MQTT, HTTP, CoAP), зберігання телеметрії, створення дашбордів, налаштування правил автоматизації, сповіщень та інтеграцію з іншими сервісами. ThingsBoard широко використовується для моніторингу енергосистем, розумних будівель, виробничих ліній, агротехнічних комплексів та будь-яких інших рішень, де потрібне віддалене збирання даних і управління обладнанням. Платформа може розгортатися локально або в хмарі, що робить її гнучким інструментом для створення повноцінних IoT-рішень.

ThingsBoard розробляє українська компанія ThingsBoard, Inc..

Платформа доступна у двох варіантах: Community Edition (open-source), Professional Edition (комерційна версія від ThingsBoard, Inc.).

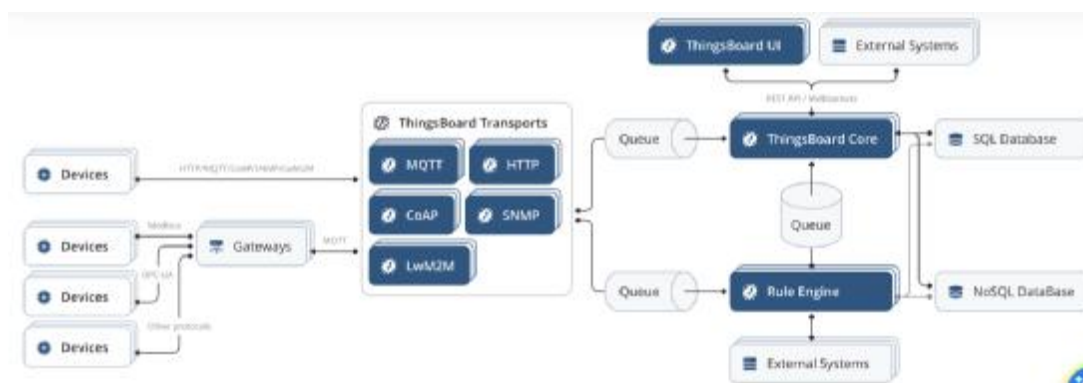


Рис. 1.4. Схема комп'ютерної системи моніторингу ThingsBoard

ThingsBoard може працювати з широким спектром обладнання, оскільки підтримує стандартні протоколи обміну даними, зокрема MQTT, HTTP та CoAP, що дозволяє підключати практично будь-які IoT-пристрої, здатні передавати телеметрію цими каналами. До такого обладнання належать мікроконтролери та плати розробки, зокрема Arduino, ESP32, ESP8266, Raspberry Pi та різноманітні пристрої на базі STM32 чи інших архітектур, які можуть передавати сенсорні дані на платформу. ThingsBoard активно використовується з промисловими контролерами — PLC, RTU, модемами та шлюзами, які підтримують Modbus, OPC UA або інші промислові протоколи, оскільки спеціальні шлюзи дозволяють інтегрувати навіть застаріле або непід'єднане до інтернету обладнання. Платформа також підтримує роботу з LoRaWAN-шлюзами та датчиками через ThingsBoard LoRaWAN Server або інтеграцію з зовнішніми мережами, такими як ChirpStack та The Things Network, що робить можливим підключення великої кількості енергоефективних сенсорів для моніторингу середовища чи об'єктів. Окрім сенсорів, система працює з актуаторами — розумними реле, клапанами, контролерами освітлення, HVAC-системами та іншим обладнанням, яке можна керувати дистанційно через RPC-команди. Завдяки гнучким API платформа інтегрується з мережевими пристроями, лічильниками, енергетичними контролерами, станціями віддаленого моніторингу та будь-яким іншим обладнанням, яке може передавати дані у вигляді телеметрії. Таким чином, ThingsBoard не обмежується конкретною лінійкою пристроїв, а виступає універсальним середовищем для збирання даних і керування для систем від невеликих домашніх IoT-мереж до великих промислових інфраструктур.

1.6. Система моніторингу OpenEnergyMonitor

Система моніторингу OpenEnergyMonitor — це комплексний, відкритий проєкт, що являє собою платформу для моніторингу та аналізу енергоспоживання та виробництва, яка включає як апаратне забезпечення (електронні пристрої), так і програмне забезпечення (серверні додатки та інтерфейси).

Основна мета OpenEnergyMonitor полягає в тому, щоб зробити високоякісний енергетичний моніторинг доступним, прозорим та гнучким для всіх – від домогосподарств, які прагнуть зменшити свої рахунки за електроенергію, до дослідників, що вивчають енергетичні тренди. На відміну від закритих комерційних систем, OpenEnergyMonitor надає користувачам повний контроль над даними та можливість модифікувати як апаратне, так і програмне забезпечення відповідно до своїх унікальних потреб.

Апаратна частина проекту зазвичай складається з недорогих, але точних модулів на базі мікроконтролерів Arduino або ESP8266/ESP32, які виконують збір даних.

EmonTx — це основний апаратний пристрій для збору даних, на якому базується робота OpenEnergyMonitor. Він приймає сигнали від датчиків струму (зазвичай підтримує 4 входи), вимірює напругу та обчислює реальну потужність (кВт) та енергію (кВт·год). EmonTx може працювати від батарей або від мережі та зазвичай передає дані бездротовим шляхом.

EmonPi — це поєднання пристрою збору даних та мініатюрного комп'ютера (на базі Raspberry Pi), інтегрованого в один корпус. EmonPi не лише вимірює потужність, але й слугує локальним сервером (хабом), який отримує дані з EmonTx, обробляє їх, зберігає та надсилає до хмари.



Рис. 1.5. Апаратний пристрій для збору даних EmonTx

Програмне забезпечення є гнучким і дозволяє користувачам обирати, де зберігати та як візуалізувати свої дані.

Ядро платформи OpenEnergyMonitor є EmonCMS, це серверне ПЗ, тобто вебдодаток, який відповідає за отримання часових рядів даних від апаратних модулів. Виконання складних математичних операцій над сирими даними (наприклад, перетворення потужності в енергію, підрахунок сукупного споживання). Надання інтуїтивно зрозумілого вебграфічного інтерфейсу для відображення даних. EmonCMS пропонує різноманітні інструменти візуалізації, включаючи графіки (History, Dial), табло (Dashboard) та таблиці, що дозволяють користувачам відстежувати миттєву потужність, кумулятивне споживання/виробництво та порівнювати тренди. Завдяки тому, що EmonCMS є відкритим програмним забезпеченням, користувачі можуть встановлювати його на власному локальному сервері (повністю контролюючи свої дані) або використовувати хмарний сервіс, що підтримується проєктом. Платформа має відкритий API, що дозволяє легко інтегрувати дані моніторингу з іншими системами "розумного будинку" чи аналітичними інструментами.

1.7. Система моніторингу Schneider Microgrid Advisor

Система моніторингу Schneider Microgrid Advisor — це високоінтелектуальна програмна платформа, розроблена компанією Schneider Electric, що використовується для оптимізації та автоматизованого керування мікромережами (microgrids). Вона позиціонується як система управління енергоресурсами (Microgrid Energy Management System, MEMS) наступного покоління, яка поєднує прогнозування, оптимізацію та керування в режимі реального часу.

Основна роль Microgrid Advisor полягає у максимізації економічної ефективності, стійкості (resilience) та екологічності роботи мікромережі, яка, зазвичай, об'єднує декілька джерел енергії (сонячні панелі, вітрові турбіни, акумуляторні системи зберігання, генератори на ископному паливі або когенераційні установки) та керується як єдиний об'єкт, здатний працювати як паралельно з основною мережею (grid-tied), так і в автономному режимі (islanded).

Microgrid Advisor виконує свої функції через три взаємопов'язані компоненти: прогнозування, оптимізацію та виконання.

Система використовує передові алгоритми та машинне навчання для створення точних прогнозів, які є основою для всіх подальших рішень:

- Передбачення кількості енергії, яку вироблятимуть відновлювані джерела (наприклад, сонячні панелі або вітер) на основі метеорологічних даних.
- Прогнозування того, скільки енергії споживатимуть будівлі або об'єкти в мікромережі.
- Оцінка майбутніх цін на електроенергію на ринку або прогнозування тарифів, що дозволяє ухвалювати рішення про час купівлі чи продажу енергії.

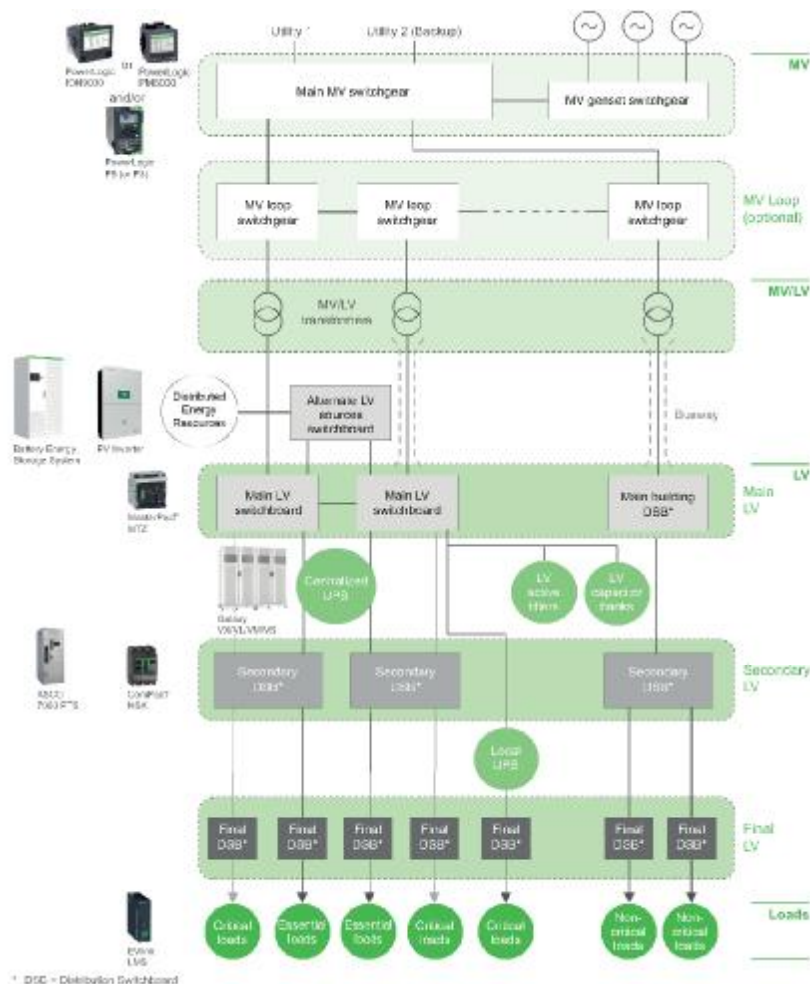


Рис. 1.6. Архітектура системи моніторингу Schneider Microgrid Advisor

На основі всіх зібраних даних та прогнозів, Microgrid Advisor обчислює найбільш економічно вигідний план роботи для всіх активів мікромережі.

Оптимізований план передається до систем контролю, які автоматично регулюють роботу всіх компонентів мікромережі, наприклад, віддаючи команди на включення/виключення генераторів, регулювання потоку потужності в інверторах чи керування зарядним циклом батарей.

У разі збою основної зовнішньої мережі (blackout), Microgrid Advisor миттєво переводить мікромережу в автономний режим (island mode), використовуючи акумулятори та генератори для забезпечення безперебійного живлення критично важливих навантажень.

Microgrid Advisor використовує хмарні обчислення та розширену аналітику, що дозволяє йому інтегруватися з різними рівнями енергетичної інфраструктури:

Платформа є частиною ширшої архітектури Schneider Electric EcoStruxure, що дозволяє їй легко взаємодіяти з іншими системами керування будівлями (BMS) та промисловою автоматизацією. Хоча система найкраще працює з обладнанням Schneider, вона розроблена для керування різноманітними виробниками енергетичних активів, включаючи сонячні інвертори, контролери батарей та генератори інших брендів, завдяки використанню стандартних комунікаційних протоколів.

1.8. Перспективні технології систем моніторингу електромереж фермерського господарства

Віддалений моніторинг і керування електричними системами фермерського господарства можуть базуватися на різних технологіях, які відрізняються способом передавання даних, рівнем надійності, затримкою сигналу, стійкістю до завад та складністю впровадження. Найпоширенішими є промислові дротові протоколи, такі як Modbus RTU та CAN, що працюють через інтерфейси RS-485 або CAN-bus і забезпечують високу точність вимірювань, мінімальні затримки та стійкість до електромагнітних перешкод, що є критично важливим для насосних станцій, генераторних щитів або систем автоматизації зерносушарок. Дещо менш чутливим до завад, але гнучкішим у розгортанні є Ethernet-з'єднання з використанням

протоколів Modbus TCP та MQTT, яке дозволяє легко інтегрувати промислові контролери, сервери збору даних і IoT-платформи. Цей підхід дає можливість централізованого управління фермою через локальну мережу та хмарні сервіси, спрощуючи додавання нових пристроїв і масштабування системи.

У тих фермерських господарствах, де прокладання кабелю є складним або економічно необґрунтованим, використовуються бездротові технології, серед яких Wi-Fi підходить для коротких дистанцій та внутрішніх приміщень, але поступається промисловим рішенням у стабільності й завадостійкості. Стільниковий зв'язок 3G/4G/5G забезпечує майже необмежений радіус дії й дозволяє віддалено керувати фермою з будь-якого місця, проте залежить від якості покриття оператора і має більші затримки в порівнянні з дротовими протоколами. Для розосереджених полів, віддалених насосних станцій і систем зрошення все частіше застосовуються LPWAN-технології, такі як LoRaWAN, що забезпечують великий радіус дії при мінімальному енергоспоживанні та підходять для передачі телеметрії, але не для швидкого оперативного керування потужним обладнанням. Коли потрібен контроль і моніторинг у масштабі всього господарства, технології SCADA і сучасні IoT-платформи, наприклад ThingsBoard, забезпечують гнучке керування, глибоку аналітику, прогнозування навантажень, систему сповіщень та інтеграцію з електрощитами, сонячними станціями, генераторами й акумуляторними системами.

Керування фермерською електротехнікою здійснюється за допомогою контролерів і реле, які можуть віддалено вмикати або вимикати обладнання, перемикають джерела живлення, регулювати роботу насосів, вентиляційних систем, освітлення, генераторів або сонячних електростанцій. Завдяки автоматизованим алгоритмам можлива оптимізація роботи систем з урахуванням часу доби, тарифів на електроенергію, температурних умов, стану техніки чи обсягів виробництва. У фермерських господарствах широко застосовуються SCADA-системи та сучасні IoT-платформи, які забезпечують централізоване управління і дозволяють власнику або оператору контролювати стан електромережі зі смартфона або комп'ютера незалежно від місця перебування. У підсумку такі технології забезпечують підвищення енергоефективності, скорочення експлуатаційних витрат, підвищення

надійності енергозабезпечення та швидке реагування на аварійні ситуації завдяки безперервному моніторингу та дистанційному керуванню всіма критичними електричними процесами фермерського господарства.

Таким чином, дротові промислові протоколи є найбільш надійними для критично важливих електротехнічних процесів, Ethernet-рішення забезпечують найкращу інтеграцію та масштабованість, стільникові мережі дозволяють керувати віддаленими об'єктами без прокладання кабелів, а LPWAN підходить для розосереджених сенсорних мереж. Вибір технології залежить від географії ферми, вимог до швидкості реакції, доступності інфраструктури та того, чи є обладнання частиною локальної мережі, чи розташоване на великих відстанях без можливості створення кабельних ліній.

1.9. Висновки до розділу 1

Проаналізовані комп'ютеризовані системи моніторингу генерування і споживання електроенергії базуються на проводових протоколах передачі даних. Зокрема центральний комунікаційний хаб Cerbo GX містить лише проводові приєднання до датчиків і виконавчих пристроїв, зовнішня комунікація виконується через проводовий Ethernet або безпроводний WiFi близького радіусу дії, тобто система моніторингу Victron VRM розрахована на роботу в межах невеликого господарства, де всі системи централізовані.

Відкриті проекти комп'ютеризовані системи моніторингу генерування і споживання електроенергії, такі як, ThingsBoard не обмежуються конкретною лінійкою пристроїв збору даних і керування, а виступають універсальними середовищем для збирання даних і керування для систем від невеликих домашніх IoT-мереж до великих промислових інфраструктур.

Розроблювана система моніторингу повинна бути універсальною подібно до того як Schneider Microgrid Advisor є частиною ширшої архітектури Schneider Electric EcoStruxure, що дозволяє їй легко взаємодіяти з іншими системами керування будівлями (BMS) та промисловою автоматизацією.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВІДДАЛЕНОГО МЕРЕЖЕВОГО МОНІТОРИНГУ І КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМИ СИСТЕМАМИ

2.1. Сучасні проводові і безпроводні протоколи зв'язку для моніторингу і керування електричними системами

Сучасні проводові і безпроводні протоколи зв'язку для моніторингу і керування електричними системами передбачають використання шин Modbus RTU та CAN у поєднанні з бездротовим модулем XBee, а також організація віддаленого керування і моніторингу за допомогою LoRaWAN і протоколу MQTT. Таке поєднання технологій дозволяє ефективно інтегрувати різноманітне обладнання, забезпечити надійний обмін даними в умовах складного електромагнітного середовища та реалізувати централізований контроль над розподіленими об'єктами на значних територіях.

Шина Modbus RTU є одним із найбільш поширених промислових протоколів обміну даними в електроенергетиці та автоматизації, що обумовлено її простотою, відкритістю стандарту та широкою підтримкою з боку виробників електролічильників, частотних перетворювачів, програмованих логічних контролерів і модулів введення-виведення. Використання Modbus RTU по інтерфейсу RS-485 забезпечує надійний зв'язок на відстанях до кількох сотень метрів, високу завадостійкість та можливість підключення великої кількості пристроїв до однієї шини, що є важливим для фермерських господарств з розосередженими електричними споживачами. Крім того, протокол дозволяє легко реалізувати опитування параметрів електроспоживання і дистанційне керування виконавчими механізмами без значних обчислювальних витрат.

Шина CAN доповнює Modbus RTU у тих ділянках системи, де потрібна підвищена надійність, детермінований обмін даними та швидка реакція на події. CAN-протокол добре пристосований до роботи в умовах сильних електромагнітних завад, характерних для роботи електродвигунів, насосів і генераторів, що часто

використовуються у фермерських господарствах. Завдяки пріоритетному доступу до шини та вбудованим механізмам виявлення помилок CAN забезпечує стабільний обмін критично важливими повідомленнями, зокрема аварійними сигналами, командами керування приводами та системами резервного електропостачання.

Модуль XBee доцільно застосовувати для організації локального бездротового зв'язку між вузлами системи, розташованими у важкодоступних або віддалених зонах господарства, де прокладання кабельних ліній є технічно складним або економічно недоцільним. Технологія XBee дозволяє швидко розгорнути бездротову мережу з помірним енергоспоживанням, забезпечити обмін даними з датчиками та виконавчими пристроями у теплицях, зерносховищах чи допоміжних приміщеннях, а також гнучко масштабувати систему без значних змін інфраструктури.

Застосування LoRaWAN як каналу віддаленого зв'язку обґрунтоване необхідністю покриття великих територій фермерського господарства з мінімальними енергетичними витратами. LoRaWAN забезпечує далекобійний зв'язок між вузлами моніторингу та центральним сервером або шлюзом навіть за відсутності стабільної провідної мережі, що є типовою ситуацією для сільської місцевості. Низьке енергоспоживання та висока дальність роблять LoRaWAN придатним для автономних вузлів, що живляться від акумуляторів або відновлюваних джерел енергії.

Протокол MQTT, у свою чергу, забезпечує ефективну взаємодію між пристроями та серверними платформами моніторингу, використовуючи модель публікації–підписки, яка добре масштабується і є стійкою до нестабільних каналів зв'язку. MQTT дозволяє централізовано збирати телеметрію, передавати команди керування, отримувати аварійні повідомлення та інтегрувати систему з хмарними сервісами аналітики й візуалізації. Поєднання MQTT з LoRaWAN або IP-мережами забезпечує гнучкість архітектури та можливість подальшого розширення функціональності системи.

Використання шин Modbus RTU, CAN і модуля XBee на локальному рівні разом із LoRaWAN і протоколом MQTT на рівні віддаленого зв'язку створює збалансовану, надійну та масштабовану систему мережевого моніторингу і

керування електричними системами фермерського господарства, яка відповідає вимогам енергоефективності та надійності.

2.2. Взаємодія протоколів зв'язку з промисловим обладнанням для моніторингу і керування електричними системами

У системах віддаленого мережевого моніторингу і керування електричними системами фермерського господарства за допомогою шин Modbus RTU та CAN, бездротового модуля XBee, а також каналів керування через LoRaWAN і протокол MQTT може підключатися широкий спектр промислового та аграрного електротехнічного обладнання. До таких пристроїв належать електролічильники та аналізатори якості електроенергії, що вимірюють напругу, струм, активну й реактивну потужність, коефіцієнт потужності та гармоніки, і зазвичай підтримують Modbus RTU по інтерфейсу RS-485. Через ці ж шини можуть підключатися частотні перетворювачі електродвигунів насосів, вентиляторів і транспортерів, які дозволяють дистанційно керувати швидкістю обертання, режимами пуску та зупинки, а також отримувати діагностичну інформацію про стан приводів. До системи також інтегруються програмовані логічні контролери та віддалені модулі введення-виведення, що забезпечують збір сигналів з кінцевих вимикачів, датчиків тиску, рівня, температури та керування реле, контакторами й електромагнітними клапанами у системах зрошення, вентиляції та живлення тваринницьких комплексів.

Шина CAN широко використовується для підключення промислових контролерів, інтелектуальних приводів, дизель-генераторних установок, систем автоматичного введення резерву та силових модулів, де потрібна висока завадостійкість і надійний обмін у реальному часі. Через CAN можуть передаватися дані про оберти двигунів, температури, аварійні стани, навантаження та команди керування, що особливо актуально для автономних енергосистем фермерських господарств. Модулі XBee застосовуються для організації локальних бездротових мереж між розподіленими вузлами, наприклад, для зв'язку з датчиками та виконавчими пристроями у віддалених приміщеннях, зерносховищах або теплицях,

де прокладання кабелів є складним або економічно недоцільним; через XВee можна підключати релейні модулі, датчики мікроклімату, стану електрообладнання та керувати ними у межах локальної мережі.

Для передачі зібраних даних на центральний сервер і віддаленого керування використовується LoRaWAN як енергоефективний канал далекого радіозв'язку, що дозволяє об'єднувати вузли моніторингу на великих територіях фермерського господарства, а також протокол MQTT, який забезпечує надійну доставку телеметрії та команд між пристроями і серверними платформами моніторингу. Через MQTT здійснюється передача показників електроспоживання, станів обладнання, аварійних повідомлень, а також надсилання керуючих команд на пуск і зупинку насосів, перемикання режимів роботи, керування навантаженнями та оптимізацію енергоспоживання. Така інтегрована система дозволяє об'єднати лічильники, приводи, генератори, системи зрошення, вентиляції та резервного живлення в єдину мережу, забезпечуючи централізований контроль, підвищення енергоефективності та надійність електропостачання фермерського господарства.

2.3. Порівняння проводових протоколів зв'язку для моніторингу і керування електричними системами

2.3.1. Область застосування протоколу Modbus RTU. Більшість сучасних комутаційних пристроїв для електричних мереж підтримують Modbus RTU, оскільки цей протокол є стандартом у промисловій автоматизації та енергетиці. До них належать автоматичні вимикачі з електронними розчеплювачами, наприклад серії Schneider Electric, які інтегруються через комунікаційні модулі для моніторингу струму, навантаження та стану апаратів, а також пристрої від ABB, що мають інтерфейси Modbus для автоматів Tmax і Emax. Крім того, промислові контактори і пускачі, зокрема від Eaton, теж можуть оснащуватися комунікаційними блоками для передавання даних у SCADA. У системах керування розподільчими мережами поширеним є використання реле захисту, таких як пристрої від Siemens серії SIPROTEC, а також реле від SEL, які підтримують Modbus RTU для

2.3.2. Область застосування протоколу CAN.

CAN-шина є надзвичайно надійним та швидким комунікаційним протоколом, що забезпечує високу цілісність даних. Через ці характеристики вона широко використовується у критично важливих системах, зокрема в енергетиці, для керування та комутації електричних мереж, особливо в мікромережах та системах накопичення енергії.

Підтримка CAN у комутаційних пристроях зосереджена переважно на "розумних" компонентах, які потребують швидкої координації з центральним контролером:

Це найпоширеніший приклад. Фактичні пристрої комутації (високовольтні контактори постійного струму або вимикачі), які фізично підключають та відключають акумулятори від інвертора або шини постійного струму, керуються системою BMS. Сама ж BMS використовує CAN-шину для швидкого та надійного обміну даними (стан заряду, напруга, температура) з інвертором/контролером, а також для надсилання команд на комутацію контакторів, коли необхідно ізолювати або підключити батарею.

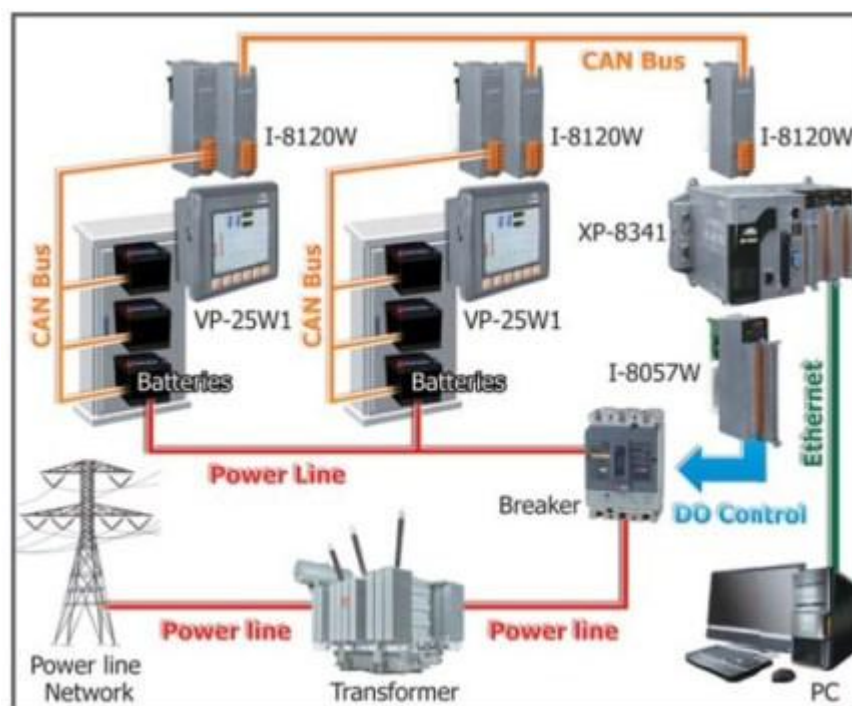


Рис. 2.2. Область застосування протоколу CAN

Деякі просунуті комутаційні пристрої, призначені для великих систем постійного струму (наприклад, у сонячних електростанціях чи центрах обробки даних), можуть мати вбудований CAN-інтерфейс. Це дозволяє центральному контролеру мікромережі (наприклад, Schneider Microgrid Advisor) швидко отримувати діагностичну інформацію про стан вимикача та надсилати команди на його дистанційне відключення або включення.

Пристрої, які забезпечують безпечне підключення мікромережі до основної зовнішньої мережі, включають спеціалізовані реле та вимикачі. Для швидкої та синхронізованої комутації під час переходу з режиму роботи "паралельно з мережею" (grid-tied) на "автономний" (islanded mode) та навпаки, вони можуть використовувати CANopen (загальноприйнятий протокол на основі CAN) або пропрієтарні CAN-протоколи для обміну критичними даними з контролером.

Хоча інвертори самі по собі є пристроями перетворення, а не комутації, вони містять внутрішні комутаційні елементи. Вони майже завжди підтримують CAN-інтерфейс для високошвидкісної координації потужності та синхронізації з іншими пристроями в мережі (як у Victron VRM). Якщо центральний контролер приймає рішення про необхідність відключення системи від мережі, команда на комутацію внутрішніх реле інвертора часто передається саме через CAN.

Загалом комутаційні пристрої, які підтримують CAN, зазвичай є ключовими елементами безпеки та контролю у складі складних, розумних енергетичних систем.

2.3.3. Порівняння Modbus RTU та CAN

Modbus RTU — це протокол верхнього рівня (application layer), який працює поверх інтерфейсу RS-485, має майже універсальну сумісність і широко використовується в промисловій автоматизації, енергетиці, HVAC.

CAN — це фізичний та канальний рівень (data-link + physical), стандарт із дуже високою надійністю, початково розроблений для автомобільної індустрії, але використовується і в промислових мережах (CANopen, DeviceNet).

Таблиця 2.1

Порівняння протоколів Modbus RTU та CAN

Характеристика	Modbus RTU	CAN
Тип	Протокол високого рівня	Фізичний + канальний рівень
Фізичне середовище	RS-485 (післяд.передача)	Спеціальна CAN-шина (диференційний сигнал)
Макс. швидкість	115,2 кбіт/с (інколи до 1 Мбіт/с)	До 1 Мбіт/с у стандартному CAN, до 5 Мбіт/с у CAN FD
Довжина лінії	До 1200 м на 9600 бод	40 м на 1 Мбіт/с, 500 м на 125 кбіт/с
Архітектура	Master–slave	Multi-master
Виявлення помилок	CRC16	CRC, bit-stuffing, ACK, автоматичні retries — значно надійніше
Стійкість до завад	Середня	Дуже висока
Кількість вузлів	До 247	До 110 (залежить від драйверів)
Гнучкість топології	Шина	Шина
Вартість реалізації	Дуже низька	Низька/середня
Поширені сфери	Енергетика, промисловість, лічильники, PLC	Автомобілебудування, робототехніка, промислові мережі високої надійності

Перевагами Modbus RTU є такі характеристики, протокол є дуже дешевий для реалізації та універсальний, тобто підтримує величезну кількість датчиків, інверторів, лічильників. Також він простий у налаштуванні (адреса, швидкість, parity) та підтримується системами SCADA, PLC, для енергетичних систем.

Недоліками є низька реактивність системи через архітектуру Master–slave. Менша стійкість до завад ніж в протоколу CAN. А також обмежена кількість повідомлень у секунду при великій мережі та немає автоматичного повторного відправлення.

Перевагами CAN є феноменальна надійність та завадостійкість. Архітектура Multi-master, тобто жодного центрального контролера не потрібно. Також протокол дуже ефективний при великій кількості датчиків, та має автоматичне виявлення/повтор надсилання кадрів при високій швидкості (особливо CAN FD).

Недоліками потреба протоколу верхнього рівня (CANopen, J1939), що

ускладнює розробку. А також менша кількість сумісних пристроїв у енергетиці та агро-секторі та дорожча апаратна реалізація.

При практичній реалізації доцільно скористатись обома проводовими протоколами обміну даними для побудови комп'ютерної системи моніторингу і керування електричними системами фермерського господарства

2.4. Порівняння безпроводних протоколів зв'язку для моніторингу і керування електричними системами

2.4.1. Порівняння безпроводних протоколів зв'язку різного радіусу.

Вибір бездротових протоколів для віддаленого мережевого моніторингу та керування електричними системами фермерського господарства визначається унікальними потребами агросектору: велика площа покриття, значна відстань між об'єктами (поля, насосні станції, склади), потреба у низькому енергоспоживанні для автономних датчиків та висока надійність передачі даних. З огляду на ці фактори, доцільно використовувати гібридний підхід, що поєднує технології великого радіусу дії (LPWAN) та локальні мережі.

Для моніторингу зовнішніх електричних систем, таких як віддалені іригаційні насоси, датчики вологості ґрунту або віддалені електролічильники, де ключовою є велика дальність і низьке енергоспоживання, найбільш доцільними є технології LPWAN (Low-Power Wide-Area Network).

Протокол великого радіусу дії LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) забезпечує виняткову дальність (до 15–20 км у сільській місцевості) і мінімальне енергоспоживання, що дозволяє датчикам працювати роками від невеликих батарей. Завдяки високій чутливості, сигнал легко проникає через перешкоди (будівлі, густий ліс). Це ідеальний вибір для збору невеликих обсягів даних (наприклад, стан реле, показники лічильника, команда на включення/вимкнення насоса) на великих полях.

Потребує встановлення однієї або кількох шлюзів (Gateways) на центральних об'єктах ферми, які покривають усю територію.

Протоколи великого радіусу дії NB-IoT та LTE-M (Cellular IoT) стандарти, що

використовують існуючу інфраструктуру мобільних операторів (GSM). Вони забезпечують відмінне проникнення сигналу вглиб будівель і мають гарну дальність. Вони особливо корисні для моніторингу великих пересувних активів (наприклад, обладнання на тракторах або моніторинг параметрів генераторів у віддалених місцях) або там, де покриття мобільного зв'язку стабільне.

Не потребує власного шлюзу, але вимагає використання SIM-карти та наявності тарифного плану.

Для керування та моніторингу систем у межах однієї будівлі (наприклад, у теплицях, зерносховищах чи основному адміністративному комплексі), де потрібна більша пропускна здатність або надійність живлення, доцільні інші протоколи:

Протоколи локальних мереж Wi-Fi (IEEE 802.11) має високу швидкість передачі даних, що ідеально підходить для передачі великих обсягів інформації (наприклад, відеоспостереження, детальна телеметрія від високопродуктивного обладнання чи інтерфейси керування). Також підходить для центральних точок збору даних (наприклад, головний офіс, де встановлений контролер мікромережі).

Високе енергоспоживання та обмежена дальність порівняно з LPWAN, що робить його непридатним для батарейних датчиків на відкритому просторі.

Протоколи локальних мереж Zigbee та Thread (Mesh-мережі) протоколи, що створюють надійні самовідновлювані mesh-мережі в межах однієї будівлі чи невеликого кластера об'єктів (наприклад, у великому коровнику або тепличному комплексі). Вони мають дуже низьке енергоспоживання, що ідеально підходить для великої кількості локальних датчиків (температура, вологість, освітленість) та невеликих виконавчих механізмів (включення вентиляторів, відкриття заслінок).

Порівняння Основних Характеристик Бездротових Протоколів: LoRaWAN, Zigbee, та Thread (див. табл. 2.2).

Ці три протоколи використовуються для різних цілей у сфері Інтернету речей (IoT), і їхній вибір критично залежить від вимог до дальності, енергоспоживання та пропускної здатності.

Таблиця 2.2

Порівняння безпроводних протоколів зв'язку

Характеристика	LoRaWAN	Zigbee	Thread
Основний Тип Мережі	LPWAN	Mesh (Локальна сітка)	Mesh (Локальна сітка)
Призначення	Моніторинг великих територій, віддалених об'єктів	Управління та автоматизація в межах будівлі	Управління та автоматизація в межах будівлі, фокус на IP-сумісності.
Стандарт/Специфікація	LoRa Alliance	IEEE 802.15.4	На базі IEEE 802.15.4, підтримує IPv6.
Топологія Мережі	Зірка з зірковою топологією (Star-of-Stars).	Mesh (Сітка).	Mesh (Сітка) (Self-healing).
Типова Дальність	Велика До 15-20 км (поле), 2-5 км (місто).	Коротка/Середня: 10–100 метрів.	Коротка/Середня: 10–100 метрів.
Пропускна Здатність	Дуже низька: 0.3 до 50 кбіт/с.	Середня: До 250 кбіт/с.	Середня: До 250 кбіт/с.
Енергоспоживання	Дуже низьке	Низьке	Низьке
Підтримка IP	Не підтримує нативно IP.	Не підтримує нативно IP.	Підтримує IPv6 (кожен пристрій має IP-адресу).
Робоча Частота	Sub-GHz (868 МГц в Європі).	2.4 ГГц, також Sub-GHz.	2.4 ГГц, також Sub-GHz.
Основні Сценарії Використання	Моніторинг активів, розумне сільське господарство (датчики ґрунту), розумні лічильники, відстеження.	Розумний дім, керування освітленням, HVAC, медичні пристрої, локальний промисловий контроль.	Розумний дім, побутова електроніка (Google Home, Apple Home), безпека, пристрої з підтримкою Matter.

LoRaWAN найкраще підходить для сценаріїв, де вам потрібно покрити велику

територію, а кожен окремий датчик має відправляти лише невелику кількість інформації (наприклад, стан реле чи температуру) нечасто. Його головна перевага — це дальність та енергоефективність, що робить його економічно вигідним для сільськогосподарських угідь або великомасштабного промислового моніторингу. Він не підходить для передачі відео чи великих файлів.

Zigbee є класичним рішенням для локальної mesh-мережі з низьким енергоспоживанням. Він забезпечує надійність завдяки тому, що кожен вузол може виступати ретранслятором, збільшуючи охоплення. Zigbee домінує у світі розумного будинку (освітлення Philips Hue, термостати) та промислової автоматизації, де швидкість і обсяг даних вищі, ніж у LoRaWAN, але дальність обмежена будівлею або об'єктом.

Thread протокол, який був розроблений як відповідь на обмеження Zigbee, зокрема відсутність нативної підтримки IP. Ключова перевага Thread — це підтримка IPv6, що робить кожен пристрій у мережі індивідуально доступним з Інтернету (через граничний маршрутизатор). Це значно спрощує інтеграцію з хмарними сервісами та робить його ідеальною основою для нового уніфікованого стандарту IoT — Matter. Thread забезпечує відмінну надійність mesh-мережі та низьке енергоспоживання.

Найбільш ефективною стратегією для фермерського господарства є створення гібридної мережі.

Для роботи сервера або хаба використовується Wi-Fi або Ethernet для підключення основного контролера (наприклад, Cerbo GX або аналогічного хаба) та високошвидкісного обладнання.

Для з'єднання сервера з кінцевими пристроями використовується LoRaWAN для збору даних з полів, іригаційних насосів та віддалених точок моніторингу, підключених до центрального шлюзу.

Кінцевий пристрій для роботи в середині об'єкта використовує Zigbee/Thread для керування мікрокліматом, освітленням та локальними електричними підсистемами всередині теплиць, складів або житлових приміщень, з'єднаних з основним Wi-Fi або Ethernet-хабом.

Такий підхід забезпечує оптимальний баланс між дальністю, пропускнуою здатністю, енергоспоживанням та економічною ефективністю, що є критично важливим для комплексного моніторингу та керування електричними системами великого фермерського господарства.

2.4.2. Архітектура та область застосування протоколу LoRaWAN

LoRaWAN є мережевою технологією бездротового зв'язку великої дальності з низьким енергоспоживанням, призначеною для об'єднання великої кількості автономних пристроїв у розподілені системи моніторингу й керування. Архітектура LoRaWAN має багаторівневу структуру і базується на зіркоподібній топології, у якій кінцеві пристрої передають дані безпосередньо на шлюзи, що знаходяться в зоні радіопокриття. Кінцеві вузли, як правило, є сенсорними або керуючими пристроями з обмеженими обчислювальними ресурсами та живляться від батарей або альтернативних джерел енергії. Вони використовують фізичний рівень LoRa з широкосмуговою модуляцією з розширеним спектром, що забезпечує високу чутливість приймача, значну дальність зв'язку та стійкість до завад при низькій швидкості передачі даних.

Шлюзи LoRaWAN виконують роль прозорих ретрансляторів між радіомережею та IP-інфраструктурою і можуть приймати пакети від багатьох кінцевих пристроїв одночасно на різних частотах і з різними параметрами модуляції. Отримані дані шлюзи передають через Ethernet, Wi-Fi або стільникові мережі до мережевого сервера LoRaWAN, який є центральним елементом архітектури. Мережевий сервер відповідає за автентифікацію пристроїв, керування доступом до мережі, усунення дублювання повідомлень, адаптацію швидкості передачі даних і потужності випромінювання, а також за маршрутизацію трафіку між шлюзами та сервером застосунків. Сервер застосунків обробляє корисні дані, виконує їх декодування, зберігання, аналітику та інтеграцію з зовнішніми інформаційними системами, зокрема через протоколи MQTT, HTTP або інші API. Для забезпечення безпеки в LoRaWAN застосовується наскрізне шифрування, де мережевий і прикладний рівні мають окремі ключі, що гарантує захист даних навіть у разі використання публічної інфраструктури шлюзів.



Рис. 2.3. Архітектура та область застосування протоколу LoRaWAN

Сфера застосування LoRaWAN охоплює широке коло задач, пов'язаних із віддаленим збором даних і керуванням у розподілених системах. Технологія широко використовується у сільському господарстві для моніторингу параметрів ґрунту, мікроклімату, стану зрошувальних систем і енергоспоживання на великих територіях. В енергетиці LoRaWAN застосовується для віддаленого обліку електроенергії, контролю стану трансформаторних підстанцій і розподілених джерел живлення. Промислові підприємства застосовують LoRaWAN для моніторингу обладнання, виявлення аварійних станів і оптимізації технічного обслуговування. Завдяки великій дальності зв'язку, низькому енергоспоживанню та масштабованій архітектурі LoRaWAN є ефективним рішенням для побудови сучасних систем Інтернету речей, орієнтованих на надійний і економічно доцільний віддалений мережевий моніторинг і керування.

2.4.3. Архітектура та область застосування протоколу Zigbee

Zigbee є бездротовою технологією короткого та середнього радіусу дії, призначеною для створення енергоефективних мереж з великою кількістю вузлів, що обмінюються невеликими обсягами даних. Архітектура Zigbee базується на стандартах IEEE 802.15.4 і передбачає багаторівневу модель, у якій фізичний та канальний рівні відповідають за радіозв'язок, а мережевий і прикладний рівні

забезпечують маршрутизацію, адресацію та взаємодію між пристроями. У типовій Zigbee-мережі виділяють три типи пристроїв: координатор, маршрутизатори та кінцеві вузли. Координатор є центральним елементом мережі, ініціює її створення, керує адресним простором і політиками безпеки. Маршрутизатори забезпечують розширення зони покриття та ретрансляцію даних між вузлами, формуючи сітчасту топологію, яка підвищує надійність і відмовостійкість мережі. Кінцеві пристрої, як правило, є датчиками або виконавчими модулями з мінімальним енергоспоживанням; вони можуть переходити у сплячий режим, що дозволяє значно подовжити термін роботи від батарей.

Завдяки підтримці сітчастої топології Zigbee забезпечує самоконфігурацію та автоматичне відновлення маршрутів у разі виходу з ладу окремих вузлів, що є важливою перевагою для розподілених систем автоматизації. Протокол передбачає механізми шифрування та автентифікації на основі алгоритму AES-128, що забезпечує базовий рівень інформаційної безпеки у бездротових мережах. На прикладному рівні Zigbee використовує профілі та кластери, які стандартизують обмін даними між пристроями різних виробників і спрощують інтеграцію обладнання у єдину систему керування.

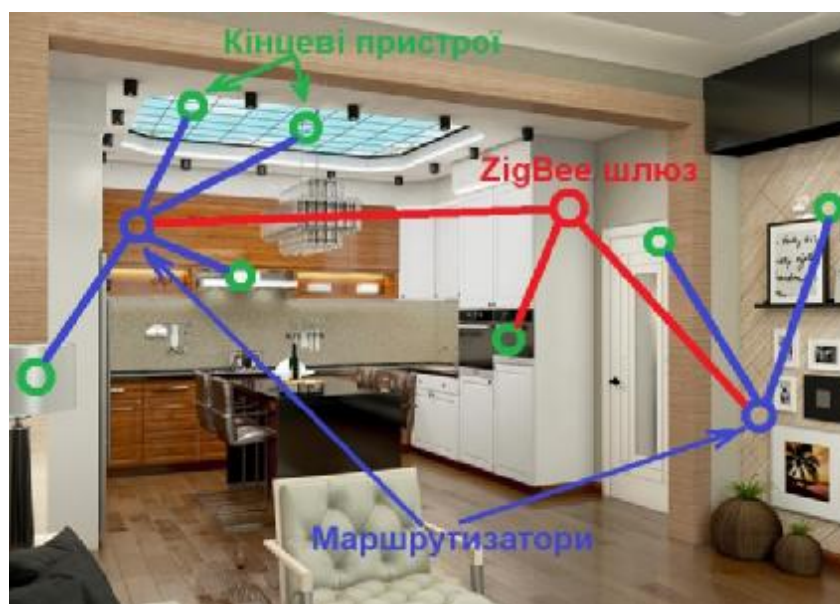


Рис. 2.4. Архітектура та область застосування протоколу Zigbee

Сфера застосування Zigbee охоплює насамперед системи автоматизації будівель і «розумного дому», де технологія використовується для керування освітленням, кліматичними системами, охоронною сигналізацією та побутовими приладами. У промисловій автоматизації Zigbee застосовується для моніторингу стану обладнання, збору даних з датчиків температури, вологості, тиску та для локального бездротового керування виконавчими механізмами. У сільському господарстві Zigbee використовується для створення локальних мереж датчиків у теплицях, фермах і складських приміщеннях, де потрібен надійний зв'язок на відносно невеликих відстанях і можливість масштабування без прокладання кабелів. Завдяки низькому енергоспоживанню, підтримці великої кількості вузлів і гнучкій архітектурі Zigbee є ефективним рішенням для побудови локальних бездротових систем моніторингу та керування в різних галузях.

2.5. Висновки до розділу 2

Використання шин Modbus RTU і CAN створює збалансовану, надійну та масштабовану систему мережевого приєднання давачів і виконавчих пристроїв для автоматизації фермерського господарства, яка відповідає вимогам енергоефективності та надійності.

Протокол MQTT, забезпечує ефективну взаємодію між пристроями та серверними платформами моніторингу, використовуючи модель публікації–підписки, яка добре масштабується і є стійкою до нестабільних каналів зв'язку. MQTT дозволяє централізовано збирати телеметрію, передавати команди керування, отримувати аварійні повідомлення та інтегрувати систему з хмарними сервісами аналітики й візуалізації.

Архітектура побудови безпроводної комунікації для моніторингу та керування електричними системами фермерського господарства передбачає з'єднання сервера з кінцевими пристроями використовується LoRaWAN для збору даних з полів, іригаційних насосів та віддалених точок моніторингу, підключених до центрального шлюзу. В свою чергу кінцевий пристрій для роботи в середині об'єкта використовує

Zigbee для керування мікрокліматом, освітленням та локальними електричними підсистемами всередині теплиць, складів або житлових приміщень.

Використання безпроводних мереж і проводових протоколів забезпечує оптимальний баланс між дальністю, пропускнуою здатністю, енергоспоживанням та економічною ефективністю, що є критично важливим для комплексного моніторингу та керування електричними системами фермерського господарства.

РОЗДІЛ 3

ПОБУДОВА ТА ТЕСТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ І КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМИ СИСТЕМАМИ

3.1. Побудова структури комп'ютерної системи моніторингу і керування електричними системами

Типова схема архітектури мережі LoRaWAN будується за багаторівневим принципом і має зіркоподібну топологію з централізованою серверною частиною.

У найнижчому рівні розташовані кінцеві пристрої (End Devices) — сенсори або керуючі вузли, які вимірюють фізичні параметри або виконують команди. Вони оснащені LoRa-радіомодулем і передають дані по радіоканалу безпосередньо до шлюзів, використовуючи фізичний рівень LoRa. Кінцеві пристрої не взаємодіють між собою і, як правило, працюють від батарей, що зумовлює низьку швидкість обміну та енергоефективний режим роботи.

Наступний рівень утворюють шлюзи LoRaWAN (Gateways), які виконують роль прозорих приймально-передавальних вузлів. Один шлюз може одночасно приймати повідомлення від сотень і тисяч кінцевих пристроїв, що знаходяться в зоні його радіопокриття. Шлюзи не аналізують вміст повідомлень і не керують пристроями безпосередньо, а лише пересилають отримані пакети через IP-мережу (Ethernet, Wi-Fi, LTE) до серверної частини. Одне повідомлення може бути прийняте кількома шлюзами одночасно, що підвищує надійність системи.

Центральним елементом архітектури є мережевий сервер LoRaWAN (Network Server). Він відповідає за керування мережею, автентифікацію кінцевих пристроїв, обробку повторно прийнятих повідомлень, адаптацію швидкості передачі даних і потужності (ADR), а також за маршрутизацію трафіку між шлюзами і серверами застосунків. Саме на цьому рівні реалізується логіка роботи мережі та контроль доступу до радіоканалу.

Окремим рівнем є сервер застосунків (Application Server), який отримує вже розшифровані корисні дані від мережевого сервера. Він виконує декодування

payload, зберігання інформації, візуалізацію, аналітику та інтеграцію з зовнішніми інформаційними системами. Для обміну з іншими сервісами зазвичай використовуються протоколи MQTT, HTTP або REST API, що дозволяє легко інтегрувати LoRaWAN у хмарні платформи моніторингу та керування.

Для забезпечення безпеки в архітектурі LoRaWAN використовується наскрізне шифрування, де розділяються мережеві та прикладні ключі. Це означає, що навіть мережевий сервер не має доступу до прикладних даних без відповідних ключів, що є важливою перевагою при використанні публічних або сторонніх шлюзів.

Така архітектура забезпечує масштабованість, високу дальність зв'язку, низьке енергоспоживання кінцевих вузлів і зручну інтеграцію з системами віддаленого моніторингу та керування, що робить LoRaWAN особливо придатною для сільського господарства, енергетики та промислових IoT-рішень.

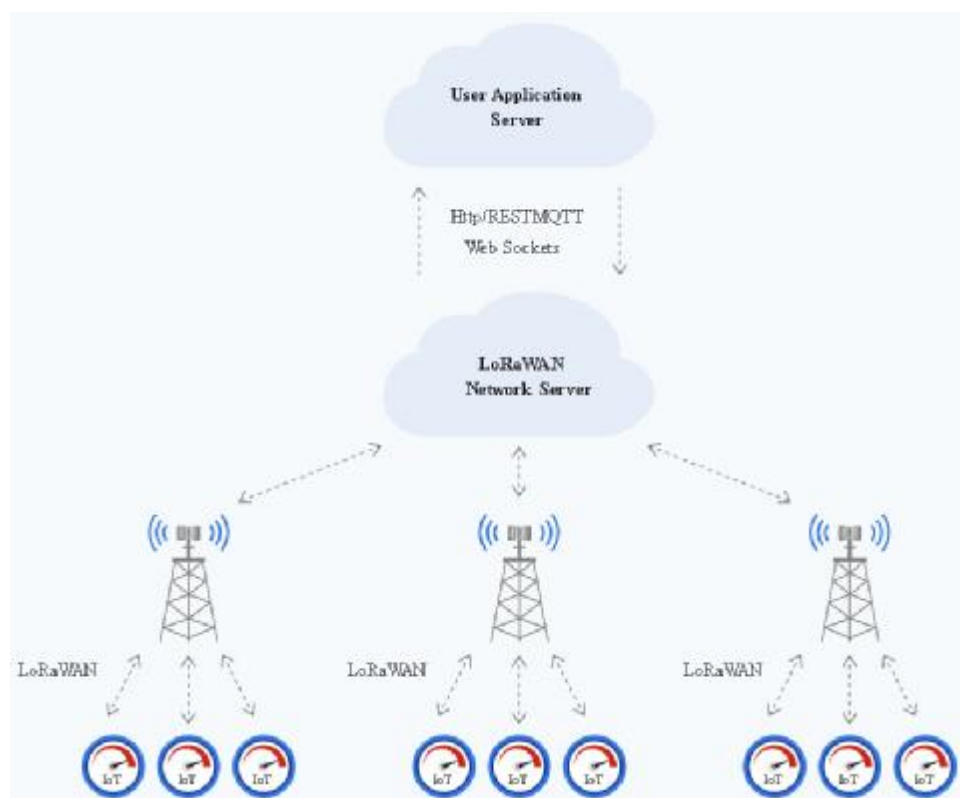


Рис. 3.1. Типова схема архітектури мережі LoRaWAN

Комп'ютерна система моніторингу і керування електричними системами буде

в ролі кінцевого пристрою і її структурна схема матиме наступний вигляд.

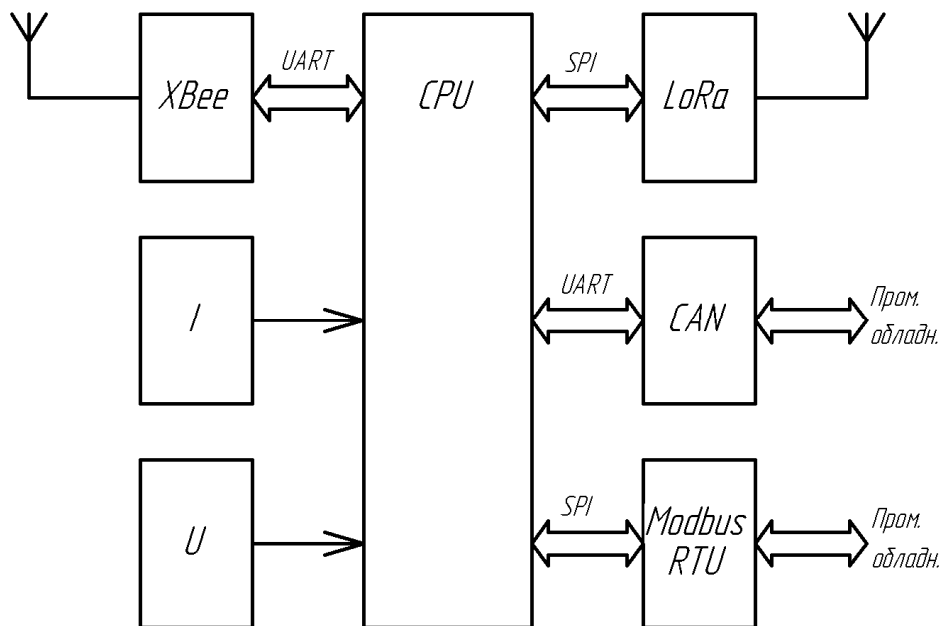


Рис. 3.2. Структурна схема комп'ютерної системи моніторингу і керування електричними системами

Комп'ютерна система для віддаленого мережевого моніторингу і керування електричними системами фермерського господарства складається з давачів струму і напруги, що вимірюють параметри споживання електричної енергії в мережі живлення і обчислюють споживану потужність. А також з модуля протоколу XBee для приєднання безпроводних систем обліку і керування електроживленням. Проводових модулів, що працюють з протоколами Modbus RTU і CAN які використовуються для приєднання промислового обладнання для комутації електроживлення і виконавчих пристроїв. Команди керування система отримує від модуля LoRaWAN що взаємодіє з хмарними сервісами і сервером через протокол MQTT. Загальне керування пристроєм виконується мікроконтролером STM32F407.

3.2. Обґрунтування апаратної платформи для побудови комп'ютерної системи моніторингу і керування електричними системами

Мікроконтролер STM32F407 є одним із найпопулярніших представників

сімейства STM32 завдяки вдалому поєднанню високої продуктивності, розвиненої периферії та надійності, що робить його придатним для широкого спектра промислових і вбудованих застосувань. В основі STM32F407 лежить 32-розрядне ядро ARM Cortex-M4 з апаратною підтримкою операцій з плаваючою комою, яке працює на тактовій частоті до 168 МГц і забезпечує достатню обчислювальну потужність для реалізації складних алгоритмів обробки сигналів, мережевих стеків і багатозадачних систем реального часу. Значний обсяг вбудованої пам'яті програм і даних дозволяє розміщувати масштабні прошивки з операційною системою реального часу, мережевими протоколами та алгоритмами керування без потреби у зовнішній пам'яті.



Рис. 3.3. Плата розробника на базі мікроконтролера STM32F407

Важливою перевагою STM32F407 є наявність багатой периферії, орієнтованої на промислові застосування. Контролер підтримує широкий набір інтерфейсів зв'язку, зокрема USART, SPI, I²C, CAN і USB, що дозволяє легко інтегрувати його з різноманітними датчиками, виконавчими механізмами та промисловими шинами. Наявність апаратного Ethernet MAC робить STM32F407 особливо привабливим для побудови мережевих пристроїв і IoT-вузлів, оскільки забезпечує пряме підключення до локальних мереж без використання зовнішніх контролерів. Розвинена система таймерів і високоточний багатоканальний АЦП із підтримкою DMA дозволяють

реалізовувати точні вимірювання електричних параметрів, генерацію керуючих сигналів і обробку даних у реальному часі.

STM32F407 відзначається також високою гнучкістю в енергоспоживанні, підтримуючи різні режими зниженого енергоспоживання, що дає змогу оптимізувати роботу пристрою в залежності від режиму експлуатації. Це особливо важливо для автономних або енергоефективних систем моніторингу. Додатковою перевагою є зріла програмна екосистема від STMicroelectronics, яка включає бібліотеки HAL і LL, середовище розробки STM32CubeIDE, генератор конфігурацій CubeMX, а також широку підтримку операційних систем реального часу, таких як FreeRTOS. Завдяки великій кількості прикладів, документації та спільноти розробників STM32F407 забезпечує скорочення часу розробки та підвищення надійності готових рішень.

У сукупності ці характеристики роблять STM32F407 універсальним і надійним мікроконтролером для створення систем віддаленого моніторингу, керування електричними установками, промислової автоматизації та IoT-рішень, де потрібні висока продуктивність, розвинені інтерфейси зв'язку і стабільна робота в реальному часі.

Модуль XBee 3 Pro є сучасним бездротовим рішенням, яке поєднує високу надійність зв'язку, гнучкість конфігурації та підвищену дальність передавання даних, що робить його ефективним компонентом для побудови розподілених систем моніторингу і керування. Однією з головних переваг XBee 3 Pro є підтримка стандарту IEEE 802.15.4 та протоколів Zigbee і DigiMesh, що дозволяє створювати як зіркоподібні, так і сітчасті мережі з автоматичною маршрутизацією та самовідновленням зв'язку. Це забезпечує стабільну роботу мережі навіть у разі виходу з ладу окремих вузлів або при зміні топології, що особливо важливо для промислових і аграрних об'єктів з великою кількістю розподілених пристроїв.

XBee 3 Pro відрізняється підвищеною вихідною потужністю передавача та чутливістю приймача, що забезпечує значну дальність зв'язку як у відкритій місцевості, так і в складних умовах із перешкодами, характерними для фермерських господарств, складів і виробничих приміщень. Модуль підтримує гнучкі режими

керування енергоспоживанням, включаючи сплячі режими, що дозволяє використовувати його в автономних пристроях із живленням від батарей або відновлюваних джерел енергії. Важливою перевагою є також наявність вбудованого мікроконтролера, який дає змогу реалізовувати просту прикладну логіку без залучення зовнішнього процесора або зменшувати навантаження на основний контролер системи.



Рис. 3.4. Модуль XBee 3 Pro

Модуль XBee 3 Pro забезпечує просту інтеграцію з вбудованими системами завдяки стандартним інтерфейсам UART і SPI, а також підтримці прозорого режиму передачі даних і режиму API, який дозволяє організовувати адресний обмін, підтвердження доставки та керування мережею. Високий рівень безпеки зв'язку досягається завдяки використанню сучасних механізмів шифрування і автентифікації, що підвищує захищеність даних у бездротових мережах. Додатковою перевагою XBee 3 Pro є розвинена екосистема програмних інструментів і документації від виробника, що спрощує налаштування, діагностику та масштабування мережі.

Модуль Heltec CubeCell-AB01 (V2) поєднує в собі низьке енергоспоживання, розширену периферію та практичну сумісність із мережею LoRaWAN, що робить його привабливим вибором для побудови автономних вузлів Інтернету речей. Одна з ключових переваг цього модуля — використання енергоефективного ядра Cortex-M0+ із достатнім обсягом флеш-пам'яті і RAM для впровадження складних програмних алгоритмів, а також інтеграція власного LoRa-радіомодуля Semtech, що

дозволяє встановлювати пряме радіоз'єднання з LoRaWAN-шлюзами без потреби в додаткових зовнішніх компонентах. Такий підхід спрощує апаратну реалізацію вузлів моніторингу, знижує вартість проєкту та дозволяє значно продовжити час автономної роботи завдяки оптимальній архітектурі живлення та режимам низького енергоспоживання, які ефективно використовуються в “розумних” сенсорних системах, що працюють від батарей.

Ще одна важлива перевага Heltec CubeCell-AB01 (V2) полягає у підтримці розширеної периферії, включно з кількома цифровими інтерфейсами UART, I²C, SPI, а також достатньою кількістю GPIO для підключення різноманітних датчиків і виконавчих пристроїв без необхідності використання додаткових мікросхем-конвертерів. Це дозволяє використовувати модуль у широкому спектрі застосувань — від збору даних із датчиків температури, вологості, струму й напруги до керування реле, клапанами або іншими виконавчими механізмами у віддалених об'єктах. Завдяки наявності підтримки популярних стеків LoRaWAN та можливості оновлення прошивки “по повітрю” (OTA), пристрій легко інтегрується в існуючі мережі, а також дозволяє централізовано керувати конфігурацією та функціональністю вузлів у полі.

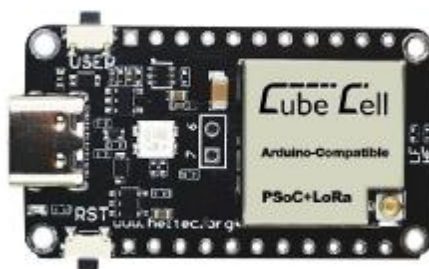


Рис. 3.5. Модуль Heltec CubeCell-AB01 (V2)

Крім того, модуль вирізняється гарною підтримкою програмних інструментів та бібліотек, включно з Arduino-сумісним середовищем, що суттєво спрощує процес розробки, тестування й розгортання IoT-рішень навіть для розробників, які не мають великого досвіду роботи з вбудованими системами. Це, у поєднанні з компактними

розмірами та доступністю у вигляді готового модуля, забезпечує швидке створення прототипів і їх перехід у серійне виробництво без значних витрат часу й ресурсів. Саме завдяки цим перевагам Heltec CubeCell-AB01 (V2) є зручним і ефективним рішенням для побудови автономних вузлів моніторингу та керування в рамках IoT-систем, зокрема у сфері сільського господарства, “розумних” мереж та енергоефективних проєктів.

3.3. Побудова електричної схеми комп’ютерної системи моніторингу і керування електричними системами

Для побудови схеми електричної принципової давача струму і напруги, що можуть також обчислювати потужність електричної енергії виберемо спеціалізовану мікросхему ADE7753ARSZ — це високоточний інтегральний енергетичний вимірювальний чіп від Analog Devices, призначений для вимірювання електричних параметрів у системах обліку електроенергії та контролю споживання.

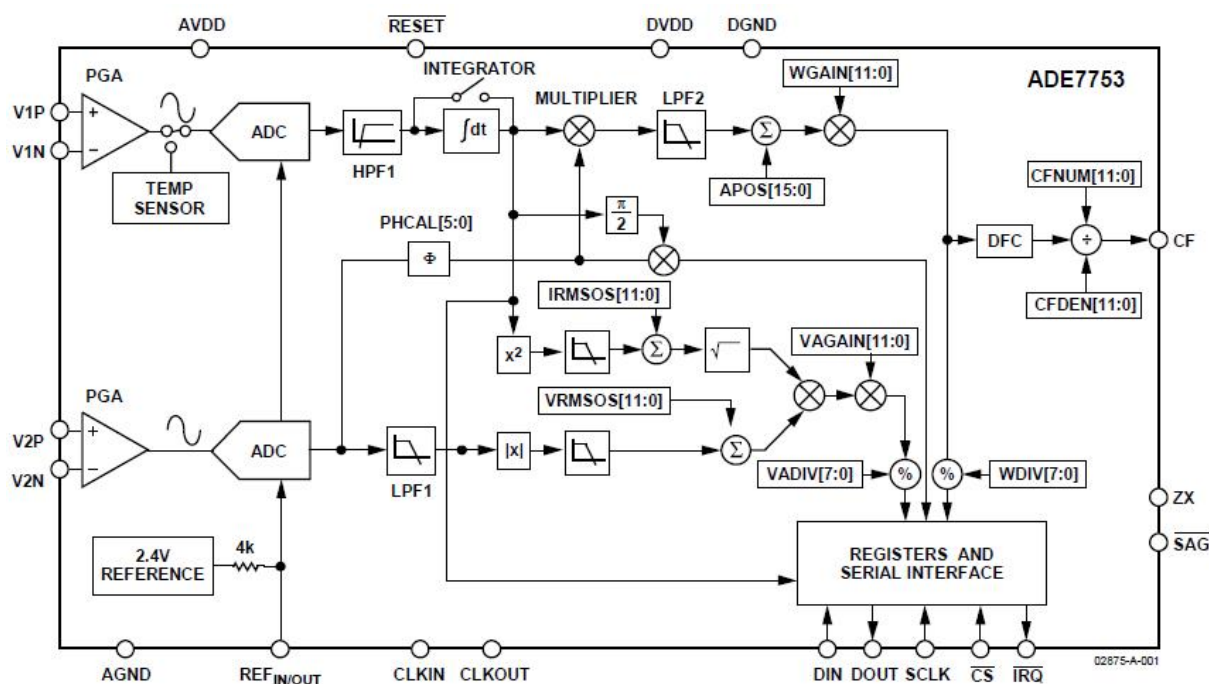


Рис. 3.6. Внутрішня структура мікросхеми ADE7753ARSZ

Він широко використовується в багатьох електrolічильниках завдяки здатності точно вимірювати активну, реактивну та повну потужність, а також

напругу й струм у реальному часі. ADE7753ARSZ інтегрує всередині себе потужні аналогові front-end блоки з вбудованими перетворювачами АЦП високої розрядності, що дає можливість виконувати точне перетворення аналогових сигналів з мережі до цифрового вигляду із мінімальними похибками. Це забезпечує високу точність вимірювання при широкому діапазоні вхідних сигналів і стійкість до перешкод, що особливо важливо для фермерських, промислових або комерційних систем обліку електроспоживання, де якість живлення може суттєво варіюватися.

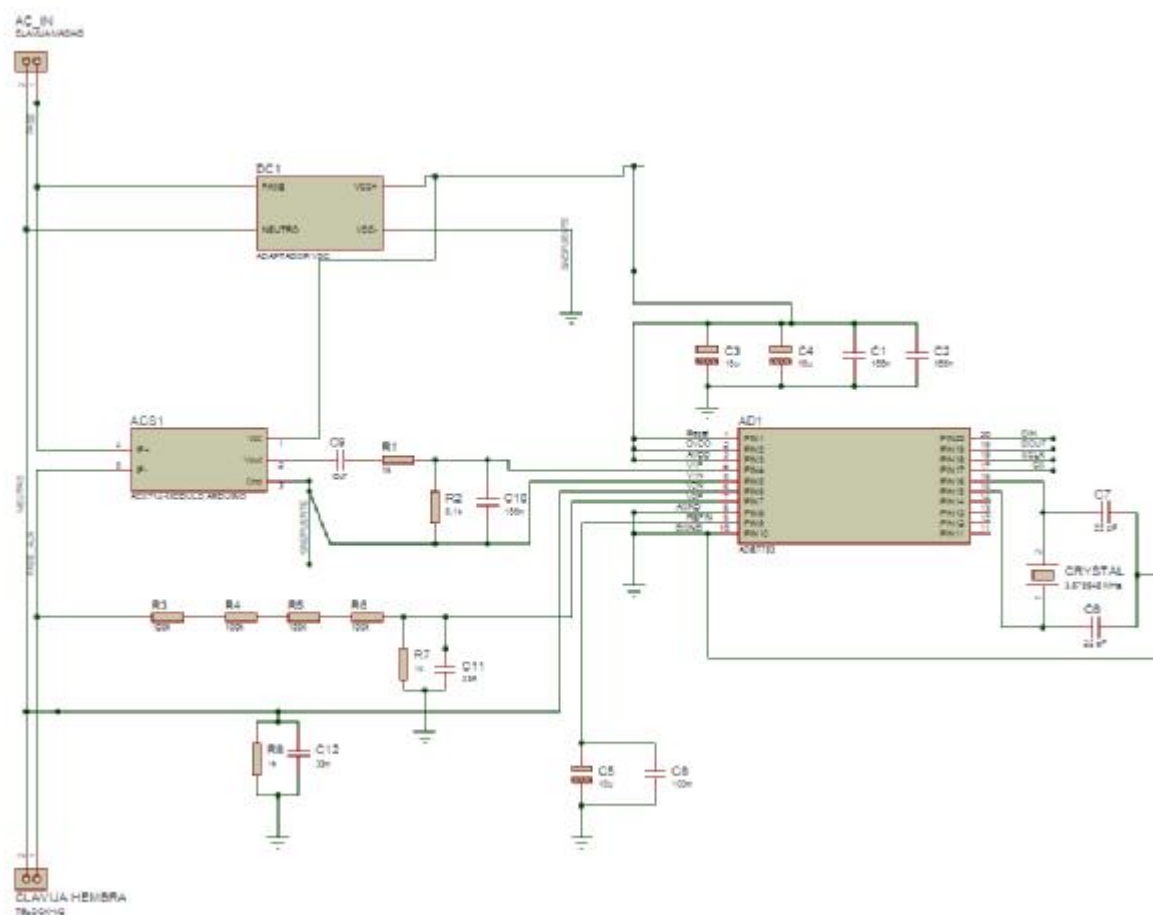


Рис. 3.7. Схема електрична принципова вимірювального модуля струму і напруги на базі ADE7753ARSZ

Пристрій підтримує пряме підключення до датчиків струму, таких як шунтові резистори або трансформатори струму, а також до датчиків напруги, що дозволяє безпосередньо вимірювати основні параметри електричної мережі. Внутрішня логіка ADE7753ARSZ виконує множення сигналів напруги та струму для

обчислення миттєвої потужності й інтеграції цих значень для отримання енергетичних показників, включаючи повну та активну енергію. Дані з чіпа можуть передаватися до зовнішнього мікроконтролера через стандартний цифровий інтерфейс SPI, що дозволяє легко інтегрувати його з платформами на базі STM32, AVR, ESP32 або іншими контролерами для подальшої обробки, віддаленого моніторингу та зберігання.

Мікросхема також підтримує низку функціональних можливостей для діагностики та забезпечення надійності, включаючи постійний контроль сигналів напруги й струму, режим самокалібрування, фільтрацію шумів та захист від аномальних станів, що дозволяє підвищити стабільність вимірювань навіть за складних електромагнітних умов. Завдяки своїй архітектурі та характеристикам ADE7753ARSZ широко застосовується в побутових і промислових лічильниках електроенергії, системах автоматичного обліку та диспетчеризації, і є ключовим елементом у побудові надійних та точних систем обліку енергії, де потрібна висока точність, стабільність вимірювань і простота інтеграції в цифрові інформаційні системи.

3.4. Побудова алгоритму роботи комп'ютерної системи моніторингу і керування електричними системами

Алгоритм роботи комп'ютерної системи моніторингу і керування електричними системами на базі STM32F4, що збирає дані з датчиків струму/напруги й шин (Modbus RTU / CAN / XBee), передає телеметрію на сервер через мережу (Ethernet/Wi-Fi/LoRaWAN) та приймає/виконує команди керування. Алгоритм розбитий на логічні етапи — від старту пристрою до штатної роботи, з обробкою помилок і енергетичними оптимізаціями.

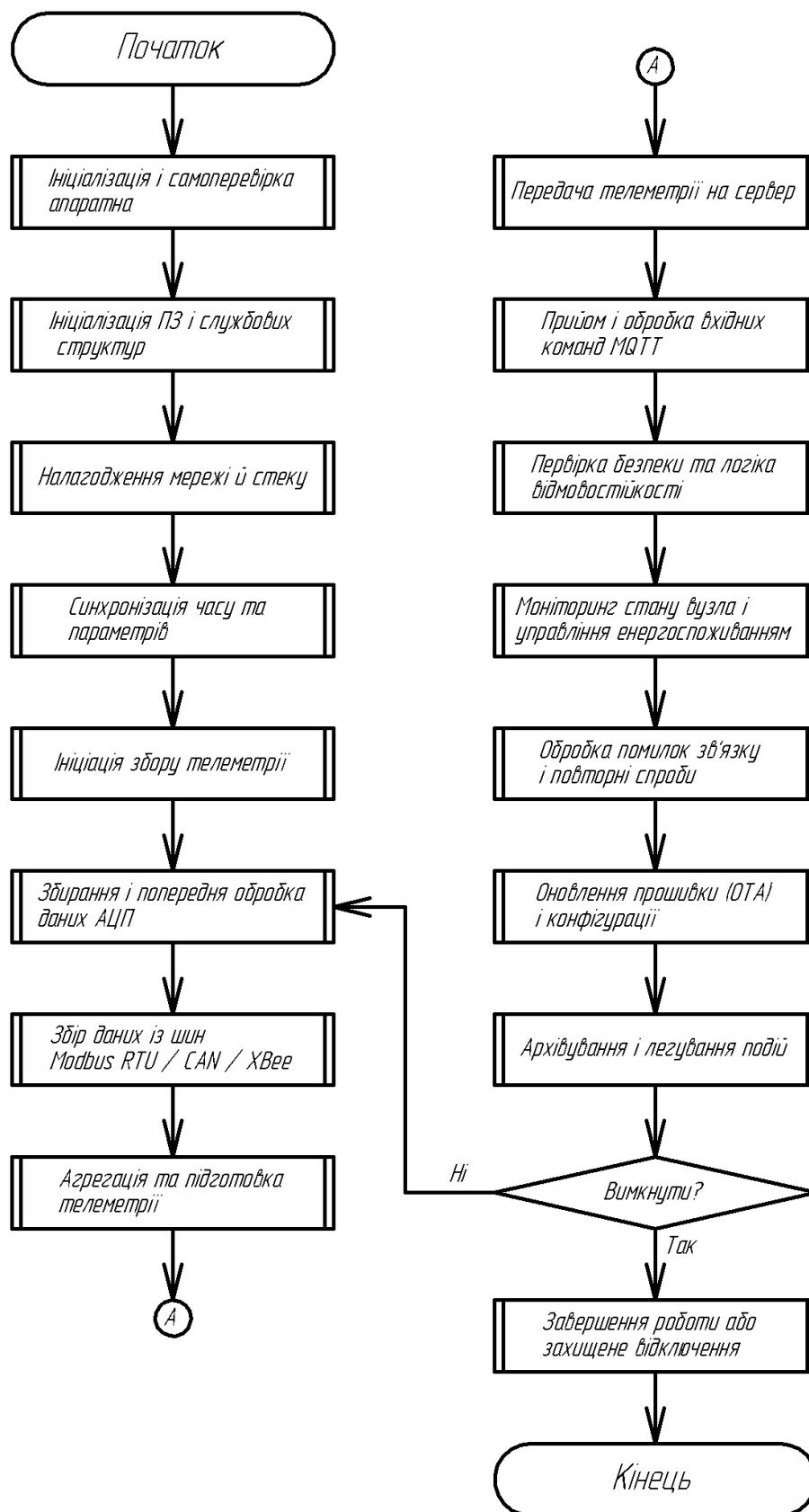


Рис. 3.8. Алгоритм роботи комп'ютерної системи моніторингу і керування електричними системами

1. Ініціалізація і самоперевірка апаратна. Після подачі живлення MCU виконує початкову ініціалізацію апаратури: налаштовує тактування, периферію (ADC, DMA, UART/RS-485, CAN, SPI/I²C для AFE, Ethernet MAC або інтерфейс до модему/LoRa-модуля), контролює стан живлення, виконуються короткі самотести (виявлення пам'яті, CRC образу прошивки, перевірка резервних банків для OTA). Якщо виявлено критичні несправності, пристрій переходить у захищений режим із повідомленням на локальний лог і спробами рестарту.

2. Ініціалізація ПЗ і службових структур. Завантажується bootloader/firmware, ініціалізується FreeRTOS (створення черг, семафорів, mutex), виділяються буфери для ADC/DMA, створюються системні задачі: NetTask, MQTT/CommTask, SensorsTask, CommandTask, WatchdogTask, LoggerTask. Параметри конфігурації (адреси брокера, налаштування Modbus/CAN, ключі LoRaWAN/OTAA) читаються з NVM (emulated EEPROM/Flash/FAT).

3. Налагодження мережі й стеку. Якщо пристрій має Ethernet/Wi-Fi, запускається LWIP/DHCP (або статична адреса) та відбувається отримання IP. Для LoRaWAN ініціалізується LoRa-модуль/стек (OTAA/ABP), налаштовуються SF/BW/ADR. Якщо використовується зовнішній модем (LTE, ESP), встановлюється послідовний інтерфейс і перевіряється доступ до інтернету. Паралельно запускається MQTT-стек або готується маршрут на шлюз (якщо LoRaWAN → мережевий сервер).

4. Синхронізація часу та параметрів. При наявності NTP/серверу часу або через серверну платформу (через MQTT або API) синхронізується системний час для точного штампування телеметрії; якщо часу немає — використовується RTC і позначається локальний таймстемп.

5. Ініціація збору телеметрії. Налаштовуються DMA-канали для безперервного циклічного збору даних з АЦП або SPI-інтерфейсу AFE; встановлюються тригери таймерів для фіксованої частоти дискретизації. Виконується початкове калібрування (зчитування коефіцієнтів калібрування з пам'яті й застосування масштабних коефіцієнтів).

6. Збирання і попередня обробка даних АЦП. DMA заповнює буфери; при половинному/повному перериванні DMA задача читає буфер, виконує базову цифрову обробку (фільтрація, усунення дрейфу, усереднення, перетворення шунтових напруг у струм, корекція коефіцієнтів) і формує структурований запис SensorData. Запис поміщається в чергу (xQueueSend) для передачі у Communication/MQTTTask та/або в локальний буфер для збереження.

7. Збір даних із шин Modbus RTU / CAN / XBee. CommandTask або окремий PollingTask періодично опитує пристрої Modbus (як master) через RS-485: відправляє запити, читає holding/input registers, перевіряє CRC і проміжки таймінгів. Для CAN застосовується переривальна або poll-логіка з фільтрацією ID; для XBee — режим API з парсером кадрів. Отримані дані інтегруються в SensorData або окремі повідомлення із мітками часу, поміщаються в чергу.

8. Агрегація й підготовка телеметрії. MQTTTask або Aggregator збирає дані з черги, формує JSON/Binary payloads, додає метадані (id вузла, firmware version, batt level, timestamp) і перевіряє політику агрегації (щохвилини / по події / при зміні $>\Delta$). При низькому енергоспоживанні або великому ToA дані можна агрегувати, компресувати та відправляти рідше.

9. Передача телеметрії на сервер. Якщо є TCP/IP доступ — MQTTTask встановлює TCP/TLS з'єднання з брокером і публікує topic/telemetry, контролює QoS, обробляє АСК. Якщо використовується LoRaWAN, то дані упаковуються в SCHC/CoAP або у payload LoRa і відправляються на gateway; порції даних формуються з урахуванням ToA та обмежень ADR. При помилці передачі повідомлення буферизуються в локальне сховище для повторної відправки.

10. Прийом і обробка вхідних команд MQTT. MQTTTask/CommandTask підписані на control topics; при отриманні команд (наприклад, керування реле, зміна параметрів, firmware update) вони валідовують авторизацію/підписи, поміщають команду в чергу CommandQueue. CommandTask бере команду, перевіряє права, виконує локальну перевірку (відсутність аварійних станів) і реалізує команду через Modbus write / CAN frame / XBee API / GPIO реле. Після виконання надсилається статус-відповідь (ack/nack) до брокера.

11. Перевірка безпеки та логіка відмовостійкості. Для критичних команд реалізовано локальний fallback: якщо з'єднання зі сервером відсутнє, кожна команда, що стосується безпеки (вирубування насосів, ATS), має здійснюватись локально згідно заданих політик; також перевіряється контроль доступу (ACL), таймаути, watchdog і fail-safe режими. Стан виконання та помилки заносяться до локального журналу.

12. Моніторинг стану вузла і управління енергоспоживанням. WatchdogTask слідкує за завантаженням CPU, станом hear, температурою, рівнем акумулятора; у разі критичного розряду або перегріву — ініціюється збереження критичних даних і поступовий shutdown модулів зв'язку (спочатку відключається high-power радіо), або перемикання в low-power режим з рідшими передаваннями.

13. Обробка помилок зв'язку і повторні спроби. Механізм exponential backoff для reconnect: при втраті мережі MQTTTask виконує повторні спроби з інтервалом, що збільшується; дані не губляться — буферизуються в circular buffer або на SD. Для LoRaWAN контролюється доступність downlink і реакція сервера по статусу join; у випадку помилок флешуються логи і надсилаються при першій можливості.

14. Оновлення прошивки (OTA) і конфігурації. При отриманні пакету OTA (по MQTT/HTTP/LoRa при підтримці) запускається процес верифікації підпису, кешування в другому банку флеш і по завершенні — атомарне перемикання bootloader на новий образ. Усі операції журналюються і мають rollback-механізм у разі помилки.

15. Архівування і легування подій. LoggerTask збирає події, помилки, статистику передачі, зберігає їх у circular log у Flash або на SD; у разі доступу до сервера лог відправляється або витягується при запиті діагностики.

16. Безперервний цикл і адаптація. Основний функціональний цикл повторюється: збір → обробка → агрегація → передача → очікування. Система адаптує частоту дискретизації/агрегації і режим передачі відповідно до команд сервера або змін зовнішніх умов (наприклад, збільшення частоти подій при аномаліях).

17. Завершення роботи або захищене відключення. При вимкненні живлення або команді на shutdown, пристрій коректно зупиняє DMA, закриває мережеві сесії, флусить буфери у Flash/SD, повідомляє сервер про status-offline (якщо є зв'язок) і переходить у safe-off режим.

Цей алгоритм включає ключові логічні блоки — ініціалізацію, збір і обробку даних (ADC/DMA, Modbus/CAN/XBee), комунікації (MQTT/TCP або LoRaWAN), обробку команд, управління енергетикою і відмовостійкість. При реалізації конкретного пристрою важливо деталізувати інтервали опитування, розміри буферів, структури повідомлень, політику QoS, механізми шифрування (TLS для MQTT або AES для LoRaWAN) та вимоги до сертифікації безпеки.

3.5. Побудова програми роботи комп'ютерної системи моніторингу і керування електричними системами

Налаштування мікроконтролера STM32F407 для створення високозахищеного IoT-вузла з підтримкою Ethernet, FreeRTOS та MQTT.

Для створення прошивки для мікроконтролера STM32F407 необхідно в програмі CubeMX виконати налаштування виводів та функціональних модулів мікроконтролера за наступним алгоритмом.

1) Вибираємо MCU для налаштування: STM32F407 з Ethernet MAC (TX/RX).

2) Налаштовуємо RCC/Clock: налаштувати тактові генератори для роботи Ethernet (найчастіше потрібно 25 MHz/125 MHz PLL для RMII).

3) Налаштування апаратних модулів, які вбудовані в мікроконтролер STM32 (Peripherals):

– ETH (Ethernet MAC) → вибрати RMII або MII залежно від PHY; налаштувати пін-аут.

– ADC1 (DMA) → для напруги/струму; конфігурація каналів, DMA circular.

– USARTx → для UART debug / XBee модулів.

– I2C/SPI → якщо використовуєте INA226 або зовнішній AFE.

– USB OTG FS → опційно для налагодження/локального логування.

4) Налаштування програмних стеків та бібліотек (Middleware):

- LWIP → увімкнути: DHCP, DNS, Socket API або Netconn API.
- FreeRTOS → включити, налаштувати конфігурацію тасків і heap (heap_4.c).
- Paho MQTT (або інша MQTT lib) — не інтегрується автоматично; додати

вручну в Middlewares/Third_Party або як окремий компонент.

- FatFS — якщо потрібна локальна логіка запису.

5) Налаштування Project Manager:

- генерація syscalls для printf через UART.

6) Файлова структура проекту будується за наступною архітектурою:

```

/Core/Src/
    main.c
    net_task.c
    mqtt_task.c
    sensors_task.c
    mqtt_client_port.c
/Core/Inc/
    net_task.h
    mqtt_task.h
    sensors_task.h
    mqtt_client_port.h
/Middlewares/Third_Party/
    paho.mqtt.embedded-c
/Drivers/
    CMSIS, HAL
/Partition/
    FreeRTOSConfig.h

```

Рис. 3.9. Лістинг файлової структури проекту

7) Налаштування модулів і функцій операційної системи реального часу

FreeRTOS:

- Interface: CMSIS_V2 (рекомендовано для нових проєктів).
- Config:

TOTAL_HEAP_SIZE: Збільште до 15360 - 32768 bytes (залежно від обсягу RAM).

Memory Management: heap_4 (дозволяє уникнути фрагментації).

- Tasks: Створіть три основні таски:

`DefaultTask`: пріоритет `Normal`, Stack 128 (системна логіка).

`NetTask`: пріоритет `High`, Stack 512 (обробка `LwIP`).

`SensorsTask`: пріоритет `AboveNormal`, Stack 256 (обробка `ADC`).

8) налаштування мережі `LWIP` (`TCP/IP Stack`)

- `General Settings`:

`LWIP_DHCP`: `Enabled` (якщо мережа автоматично видає `IP`).

`LWIP_UDP/TCP`: `Enabled`.

`MEM_SIZE`: Мінімум 2048 - 4096.

- Key Parameter: `TCPIP_THREAD_STACKSIZE` — встановить мінімум 1024

для стабільної роботи `MQTT`.

9) Налаштування `ADC+DMA`:

- режим `circular`, `half-complete/complete interrupts`, потім в `SensorsTask` обробляти буфер.

10) Збереження параметрів:

- використовувати `Flash (emulated EEPROM)` або `FatFS/SD`.

Після цих налаштувань отримуємо код програми для генерації прошивки мікроконтролера.

3.6. Тестування комп'ютерної системи моніторингу і керування електричними системами

Надійність зв'язку є ключовим параметром роботи комп'ютерної системи моніторингу і керування електричними системами для фермерського господарства. Оскільки керуваність обладнання залежить від того чи комп'ютерна система може приймати і передавати інформацію на сервер і отримувати команди керування. Надійність зв'язку забезпечується протоколом `LoRaWAN` який використовує алгоритм розширення спектру для завадостійкого передавання сигналів рис.3.10.

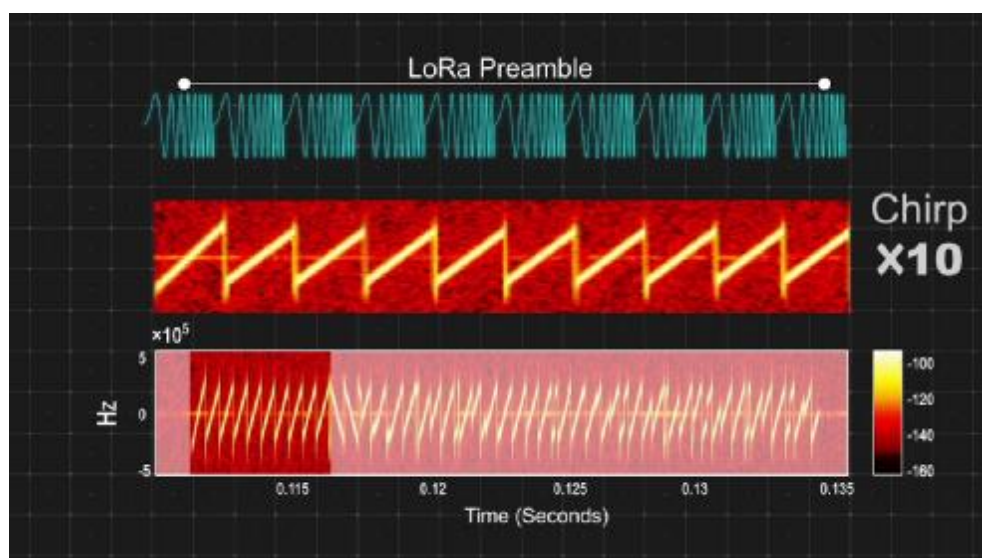


Рис. 3.10. Приклад сигналів LoRaWAN

Завадостійкість фактично задається за допомогою коефіцієнта розкиду (SF), що є ключовим параметром (SF7-SF12), який контролює компроміс між дальністю, швидкістю передачі даних та споживанням енергії, рис 3.11.

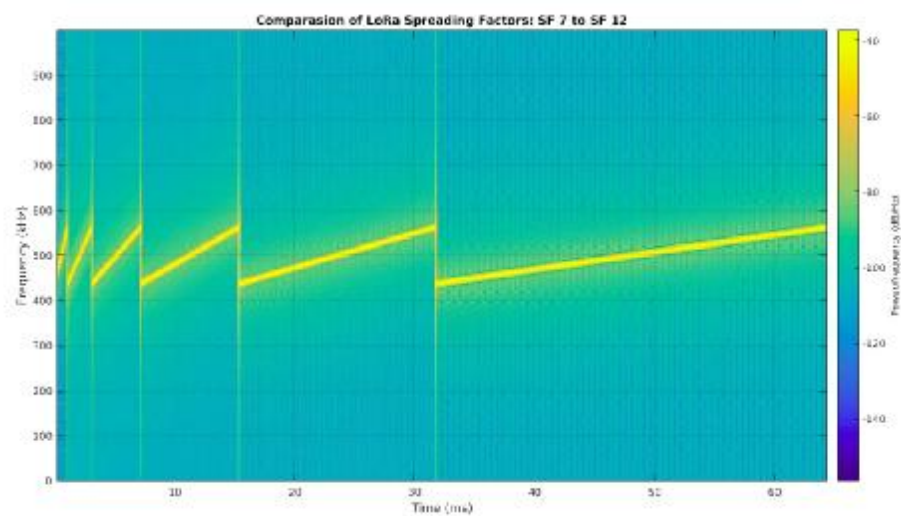


Рис. 3.11. Результат вимірювання часових параметрів сигналів LoRaWAN при різних значеннях SF

Вищий SF збільшує дальність та надійність, але знижує швидкість передачі даних та збільшує розряд батареї, тоді як нижчий SF збільшує швидкість передачі даних, але зменшує дальність, що дозволяє ефективно керувати мережею та оптимізувати пристрої. Він працює за рахунок збільшення кількості чирпів (частотних розгорток) на символ, покращуючи чутливість, але займаючи більше

часу для передачі, рис.3.12.

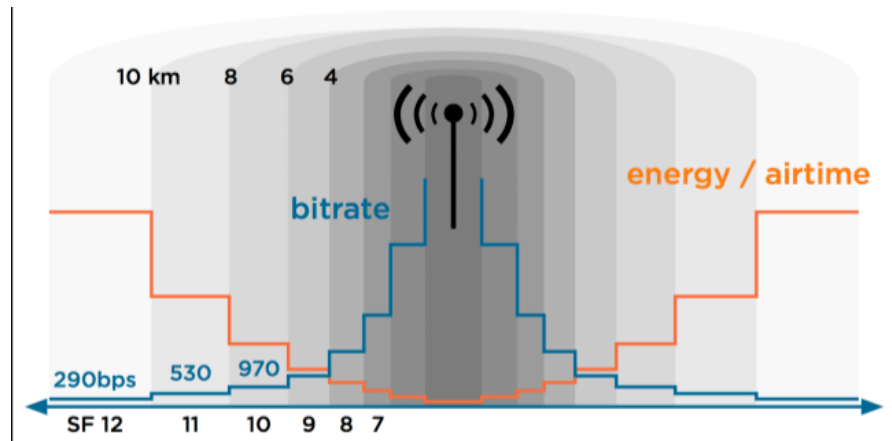


Рис. 3.12. Залежність швидкості передачі даних і дальності зв'язку від коефіцієнта розкиду (SF)

Завадостійкість каналу зв'язку LoRaWAN комп'ютерної системи оцінюємо за результатами тестування передачі пакетів до кінцевого пристрою за характеристиками імовірності помилково прийнятих символів від відношення сигнал / шум при різних коефіцієнтах розкиду (SF) рис.3.13.

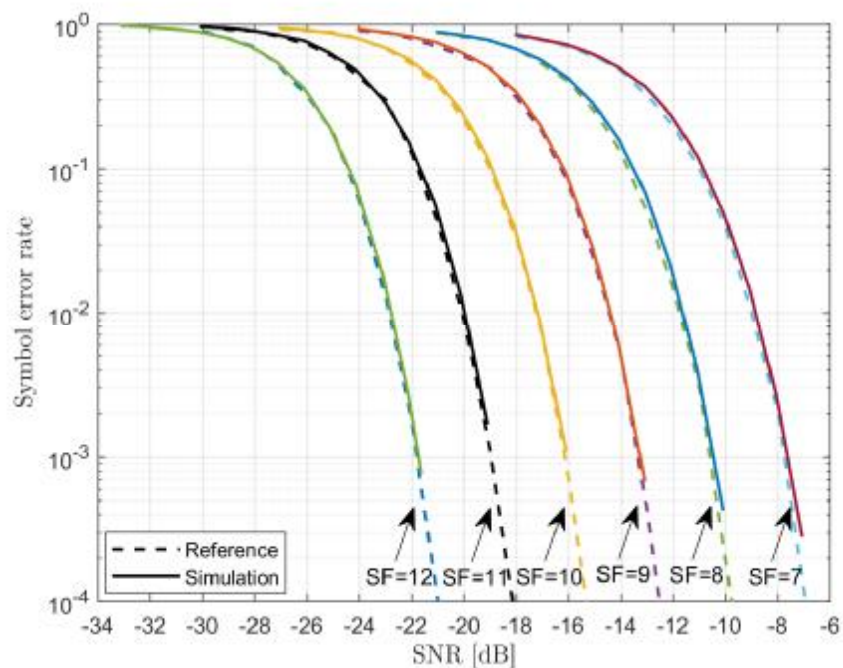


Рис. 3.13. Характеристики імовірності помилково прийнятих символів від відношення сигнал / шум при різних коефіцієнтах розкиду (SF)

Отримані характеристики імовірності помилково прийнятих символів від відношення сигнал / шум, показують незначне відхилення від характеристик отриманих за результатами симуляції. Тобто каналу зв'язку LoRaWAN гарантує надійний зв'язок навіть при малому значенні коефіцієнта розкиду (SF).

3.6. Висновки до розділу 3

Типова схема архітектури мережі LoRaWAN будується за багаторівневим принципом і має зіркоподібну топологію з централізованою серверною частиною. Така архітектура забезпечує масштабованість, високу дальність зв'язку, низьке енергоспоживання кінцевих вузлів і зручну інтеграцію з системами віддаленого моніторингу та керування, що робить LoRaWAN особливо придатною для сільського господарства, енергетики та промислових IoT-рішень.

Для побудови схеми електричної принципової давача струму і напруги, що можуть також обчислювати потужність електричної енергії виберемо спеціалізовану мікросхему ADE7753ARSZ яка використовується при побудові надійних та точних систем обліку енергії, де потрібна висока точність, стабільність вимірювань і простота інтеграції в цифрові інформаційні системи.

Розроблений алгоритм роботи комп'ютерної системи моніторингу і керування електричними системами включає ключові логічні блоки — ініціалізацію, збір і обробку даних (ADC/DMA, Modbus/CAN/XBee), комунікації (MQTT/TCP або LoRaWAN), обробку команд, управління енергетикою і відмовостійкість. При реалізації конкретного пристрою важливо деталізувати інтервали опитування, розміри буферів, структури повідомлень, політику QoS, механізми шифрування (TLS для MQTT або AES для LoRaWAN) та вимоги до сертифікації безпеки.

Отримані характеристики імовірності помилково прийнятих символів від відношення сигнал / шум, показують незначне відхилення від характеристик отриманих за результатами симуляції. Тобто каналу зв'язку LoRaWAN гарантує надійний зв'язок навіть при малому значенні коефіцієнта розкиду (SF), для побудови високозахищеного IoT-вузла з підтримкою Ethernet, FreeRTOS та MQTT

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Охорона праці

Кваліфікаційна робота магістра пов'язана із розробкою обладнання, що буде виконувати вимірювання і керування автоматичними електротехнічними пристроями, тому воно повинно відповідати вимогам електробезпеки України та Європейського Союзу.

Електробезпека побутового обладнання в Україні регулюється на рівні законодавства через прийняття технічних регламентів, які гармонізовані з відповідними директивами Європейського Союзу, та національними стандартами ДСТУ (Державні стандарти України), що прийняті на основі міжнародних стандартів ІЕС та європейських EN.

Основним нормативно-правовим актом, що встановлює вимоги до безпеки побутового електричного обладнання в Україні, є — технічний регламент низьковольтного електричного обладнання (прийнятий Постановою КМУ № 1067 від 16.12.2015 р.). Цей регламент базується на Європейській директиві 2014/35/EU (Low Voltage Directive, LVD) і вимагає, щоб будь-яке обладнання, призначене для використання при номінальній напрузі від 50 до 1000 В змінного струму та від 75 до 1500 В постійного струму, відповідало вимогам безпеки.

Основна вимога регламенту є те, що обладнання має бути сконструйоване таким чином, щоб у разі його правильного встановлення, технічного обслуговування та використання за призначенням, воно не становило небезпеки для людей, свійських тварин чи майна.

Для підтвердження відповідності вимогам технічного регламенту виробники та імпортери зобов'язані використовувати гармонізовані національні стандарти, зокрема:

— ДСТУ EN 60335-1. Побутові та аналогічні електричні прилади. Безпека. Частина 1. Загальні вимоги. Це головний стандарт, який визначає загальні вимоги до

конструкції, ізоляції, випробувань на міцність, теплові режими, механічну безпеку та надійність для всіх побутових приладів.

— ДСТУ EN 60335-2-XX. Частина 2. Спеціальні вимоги до конкретних типів приладів (наприклад, 60335-2-3 для прасок, 60335-2-24 для холодильників).

— ДСТУ EN 61140. Захист від ураження електричним струмом. Загальні аспекти для установок та обладнання.

— ДСТУ EN 50581. Технічна документація для оцінювання електричних та електронних виробів стосовно обмеження вмісту небезпечних речовин (RoHS).

Відповідно до гармонізованих стандартів (ДСТУ EN 60335), електричне обладнання повинно забезпечувати:

1. Захист від ураження електричним струмом і відповідати системі класів захисту:

Клас I. Обладнання має основну ізоляцію. Крім того, всі доступні металеві частини, які можуть опинитися під напругою у разі пошкодження ізоляції, повинні бути надійно з'єднані із захисним заземлювальним провідником (заземлюючий контакт у вилиці).

Клас II. Обладнання не має заземлювального провідника. Захист досягається завдяки подвійній або посиленій ізоляції, яка гарантує, що небезпечні частини є повністю недоступними.

Клас III. Обладнання, призначене для живлення від безпечної наднизької напруги (SELV) (не більше 50 В змінного струму)..

2. Ізоляційний опір та електрична міцність. Обладнання має витримувати випробування високою напругою (діелектрична міцність) без пробою ізоляції. Це гарантує, що ізоляційні матеріали, використані в конструкції, є достатньо надійними.

3. Обмеження температурних режимів. Прилади не повинні нагріватися до температури, яка може спричинити опік користувача або пошкодження навколишніх матеріалів. Стандарт встановлює жорсткі обмеження для доступних поверхонь та елементів керування.

4. Захист від води та вологості (IP-клас). Прилади, призначені для

використання у вологих приміщеннях (наприклад, ванні кімнати), повинні мати відповідний ступінь захисту від проникнення води (клас IP — Ingress Protection), зазначений виробником.

5. Маркування та інформація. Кожен прилад повинен мати чітке та незмивне маркування, що містить:

Найменування та модель.

Номінальну напругу та потужність (або струм).

Клас захисту (I, II або III).

Знак відповідності технічним регламентам (національний знак UA-TR).

Дотримання цих вимог гарантує, що розроблене електрообладнання, є безпечним для кінцевого споживача.

4.2. Основи фізіології праці й комфортних умов життєдіяльності. Класифікація основних форм діяльності людини. Особливості фізичної та розумової праці.

Основи фізіології праці й комфортних умов життєдіяльності. Основи фізіології праці й комфортних умов життєдіяльності охоплюють комплекс знань про закономірності функціонування організму людини під час трудової діяльності та про ті умови середовища, за яких забезпечуються оптимальна працездатність, здоров'я та безпека. Фізіологія праці вивчає, як фізичні, розумові й емоційні навантаження впливають на організм, визначає межі працездатності, механізми стомлення та відновлення, а також принципи раціональної організації трудового процесу. Одним із ключових аспектів є оптимальний розподіл робочого часу і відпочинку, що дозволяє уникати перевтоми та підтримувати стабільну працездатність упродовж робочого дня. Особлива увага приділяється ергономічним вимогам до робочих місць, які повинні враховувати анатомічні й фізіологічні особливості людини та мінімізувати ризик перенапруження, травм чи професійних захворювань.

Комфортні умови життєдіяльності охоплюють мікроклімат, освітлення,

шумове середовище, якість повітря, рівень вібрацій, а також психологічний комфорт. Оптимальний мікроклімат визначається поєднанням температури, вологості та швидкості руху повітря, які повинні забезпечувати тепловий баланс організму та запобігати перегріванню чи переохолодженню. Якісне освітлення мінімізує напруження зору, підтримує високу точність виконання завдань і впливає на загальний психофізіологічний стан. Нормативи допустимого рівня шуму спрямовані на захист нервової системи та слухового апарату, адже надмірний шум знижує концентрацію, спричиняє стрес і прискорює розвиток стомлення.

До фізіологічних основ комфортної діяльності належить також раціональний режим праці та відпочинку, правильна організація рухової активності та профілактика монотонного або надмірного навантаження. Важливою складовою є психофізіологічний комфорт, що охоплює відсутність стресових факторів, позитивний емоційний клімат, чіткість робочих завдань і відчуття контролю над процесом діяльності. Сукупність цих факторів забезпечує безпечні та здорові умови роботи, підвищує продуктивність, покращує самопочуття працівників і сприяє збереженню їхнього функціонального стану на тривалий час.

Класифікація основних форм діяльності людини. Класифікація основних форм діяльності людини охоплює різноманітні види активності, спрямовані на задоволення потреб, розвиток особистості та взаємодію із зовнішнім середовищем. Найпоширенішим є поділ за домінуючим характером залучених психофізіологічних процесів, що дозволяє виділити фізичну, розумову, творчу, соціальну та ігрову діяльність. Фізична діяльність пов'язана з виконанням рухових дій, спрямованих на перетворення матеріальних об'єктів або переміщення власного тіла, і включає як побутові, так і професійні чи спортивні навантаження. Розумова діяльність базується на процесах мислення, аналізу, пам'яті та уваги, і є характерною для навчання, управління, наукових досліджень та інтелектуальної творчості. Творча діяльність полягає у створенні нових ідей, образів або продуктів, що раніше не існували, і проявляється в мистецтві, технічній творчості, інноваційних рішеннях та конструкторській роботі.

Соціальна діяльність охоплює взаємодію з іншими людьми та суспільством

загалом, включаючи спілкування, співпрацю, управління, участь у соціальних інститутах і громадській діяльності; вона забезпечує адаптацію людини в колективі, розвиток комунікативних навичок та формування соціальних ролей. Ігрова діяльність, характерна насамперед для дітей, сприяє формуванню пізнавальних процесів, моделюванню життєвих ситуацій та розвитку уяви, проте в дорослому віці вона також може виконувати функції тренування, відпочинку та зняття психічного напруження. Окремо виділяють навчальну діяльність, яка забезпечує засвоєння знань, умінь та навичок, а також професійну діяльність, спрямовану на виконання спеціалізованих трудових функцій відповідно до здобутих компетенцій. Усі ці форми діяльності взаємопов'язані, доповнюють одна одну та у динамічній комбінації забезпечують всебічний розвиток людини, її адаптацію до умов середовища та реалізацію особистісного потенціалу.

Особливості фізичної та розумової праці. Фізична та розумова праця мають низку специфічних особливостей, що визначають їхній вплив на організм і вимоги до умов виконання. Фізична праця характеризується переважним залученням м'язової системи, підвищенням енергетичних витрат та активацією серцево-судинної і дихальної систем. При виконанні фізичних навантажень збільшується частота дихання, серцеві скорочення, м'язовий тонус, активізуються обмінні процеси. Її особливістю є потреба у достатньому відновленні, раціональному режимі праці й відпочинку, правильній організації робочого місця й мінімізації надмірних статичних навантажень, які можуть призводити до швидкої втоми та розвитку професійних захворювань. Фізична праця часто пов'язана з роботою в змінних умовах середовища та потребує високої координації рухів, сили, витривалості й швидкої реакції.

Розумова праця, навпаки, ґрунтується переважно на інтелектуальних процесах — мисленні, аналізі, пам'яті, увазі, прийнятті рішень. Вона не потребує значних м'язових зусиль, проте супроводжується інтенсивним напруженням центральної нервової системи. Особливістю такої праці є висока потреба в концентрації, стійкій увазі та здатності переробляти великі обсяги інформації. Незважаючи на менші фізичні витрати, розумова праця може спричиняти значне нервове й емоційне

напруження, що виявляється у перевтомі, погіршенні когнітивних функцій та зниженні працездатності. Для її ефективного виконання важливі ергономічно організоване робоче місце, оптимальний мікроклімат, достатнє освітлення, регулярні перерви та чергування видів діяльності.

Хоча фізична й розумова праця належать до різних типів навантажень, вони однаково вимагають раціонального режиму, сприятливих умов та правильного управління навантаженням, адже від цього залежить продуктивність, стан здоров'я та здатність працівника підтримувати високу працездатність упродовж тривалого часу.

ВИСНОВКИ

Розроблювана система моніторингу повинна бути універсальною подібно до того як Schneider Microgrid Advisor є частиною ширшої архітектури Schneider Electric EcoStruxure, що дозволяє їй легко взаємодіяти з іншими системами керування будівлями (BMS) та промисловою автоматизацією.

Використання шин Modbus RTU і CAN створює збалансовану, надійну та масштабовану систему мережевого приєднання давачів і виконавчих пристроїв для автоматизації фермерського господарства, яка відповідає вимогам енергоефективності та надійності.

Використання безпроводних мереж і проводових протоколів забезпечує оптимальний баланс між дальністю, пропускнуою здатністю, енергоспоживанням та економічною ефективністю, що є критично важливим для комплексного моніторингу та керування електричними системами фермерського господарства.

Розроблений алгоритм роботи комп'ютерної системи моніторингу і керування електричними системами включає ключові логічні блоки — ініціалізацію, збір і обробку даних (ADC/DMA, Modbus/CAN/XBee), комунікації (MQTT/TCP або LoRaWAN), обробку команд, управління енергетикою і відмовостійкість. При реалізації конкретного пристрою важливо деталізувати інтервали опитування, розміри буферів, структури повідомлень, політику QoS, механізми шифрування (TLS для MQTT або AES для LoRaWAN) та вимоги до сертифікації безпеки.

Отримані характеристики імовірності помилково прийнятих символів від відношення сигнал / шум, показують незначне відхилення від характеристик отриманих за результатами симуляції. Тобто каналу зв'язку LoRaWAN гарантує надійний зв'язок навіть при малому значенні коефіцієнта розкиду (SF), для побудови високозахищеного IoT-вузла з підтримкою Ethernet, FreeRTOS та MQTT

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Такварелі А., Лецишин Ю. Застосування сенсорних безпроводних мереж для моніторингу виробництва і споживання електроенергії. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XIV міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11-12 грудня 2025) / М-во освіти і науки України, ТНТУ ім. І. Пулюя [та ін]. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2025. С.357.
2. Такварелі А., Лецишин Ю. Комп'ютерна система моніторингу виробництва і споживання електроенергії. Матеріали XIII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, (Тернопіль, 17–18 грудня 2025 р.). Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2025. С.92
3. Моніторинг ресурсів на всі випадки! URL: <https://smart-maic.com/uk/> (дата звернення: 02.12.2025)
4. Розумний енергомонітор Nous D4Z DIN ZigBee 120A. URL: <https://nous.ua/product/rozumnij-energomonitor-nous-d4z-din-zigbee-120a.html> (дата звернення: 02.12.2025)
5. Панель управління Ekрано GX URL: <https://www.victronenergy.ua/communication-centres/ekrano-gx> (дата звернення: 02.12.2025)
6. What is ThingsBoard IoT Gateway? URL: <https://thingsboard.io/docs/iot-gateway/what-is-iot-gateway/> (дата звернення: 02.12.2025)
7. What is ThingsBoard? URL: <https://thingsboard.io/docs/getting-started-guides/what-is-thingsboard/> (дата звернення: 02.12.2025)
8. Система моніторингу та контролю сонячних електростанцій та генераторів від ENcombi URL: <https://www.sig.energy/systema-monitoryngu-ta-kontrolyu-sonyachnyh-elektrostantsij-ta-generatoriv-vid-encombi/> (дата звернення: 02.12.2025)
9. What Is the Modbus Communication Protocol? URL: <https://www.lorric.com/en/Articles/flowmeter-technology/ultrasonic-flowmeter/modbus->

rtu (дата звернення: 02.12.2025)

10. Zigbee 101: посібник для початківців URL: <https://dou.ua/forums/topic/38080/> (дата звернення: 02.12.2025)

11. ZigBee URL: <https://itmaster.biz.ua/directory/standarts/zigbee.html> (дата звернення: 02.12.2025)

12. Professional Wiring of galvanically isolated CAN Networks URL: <https://esd.eu/en/support/can-bus-wiring-notes> (дата звернення: 02.12.2025)

13. LoRa vs LoRaWAN URL: <https://just-iot.com/home/technology/networks-technologies/lorawan/> (дата звернення: 02.12.2025)

14. Луцик Н.С., Луцків А.М., Осухівська Г.М., Тиш Є.В. Програма та методичні рекомендації з проходження практики за тематикою кваліфікаційної роботи для студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» другого (магістерського) рівня вищої освіти усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ. 2024. 45 с.

15. Луцик Н.С., Луцків А.М., Осухівська Г.М., Тиш Є.В. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи магістра для студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» другого (магістерського) рівня вищої освіти усіх форм навчання. Тернопіль. 2024. 44 с.

16. Варавін А.В., Лещишин Ю.З., Чайковський А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Дослідження і проєктування комп'ютерних систем та мереж» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 32 с.

17. Voloskyi V., Leshchyshyn Y., Romanyshyn N., Palamar A., Tarasenko L. Method and algorithm for efficient cell balancing in the lithium-ion battery control system. CEUR Workshop Proceedings, The 1st International Workshop on Bioinformatics and Applied Information Technologies (BAIT 2024), Zboriv, Ukraine, October 02-04, 2024. Vol. 3842. P. 258-267.

18. Palamar A., Karpinski M., Palamar M., Osukhivska H., Mytnyk M. Remote Air Pollution Monitoring System Based on Internet of Things. CEUR Workshop

Proceedings, 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2022), Ternopil, Ukraine, November 22–24, 2022. Vol. 3309. P. 194-204.

19. Лещишин Ю.З., Романишин Н.Р., Наконечний В.В., Паламарчук А.О. Розробка системи зв'язку як інтегрованого елементу роботизованих систем. Проблеми створення, розвитку та застосування високотехнологічних систем спеціального призначення з урахуванням досвіду антитерористичної операції. Збірник тез доповідей XXI Всеукраїнської науково-практичної конференції. Житомир, 2016. С. 102.

20. Лещишин Ю.З., Назаревич Т.О., Міська І.В. Створення вбудованих систем на базі структурно - параметричних моделей цифрових каналів зв'язку. VIII Науково-технічна конференція «Інформаційні моделі, системи та технології». Тернопіль, 2020. С. 127.

21. Марків В.А., Осухівська Г.М., Лещишин Ю.З., Луцків А.М. Комп'ютерна система аутентифікації осіб. Матеріали XX наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя. 2017. С. 90–91.

22. Leschyshyn Y., Scherbak L., Nazarevych O., Gotovych V., Tymkiv P., Shymchuk G. Multicomponent Model of the Heart Rate Variability Change-point. IEEE XVth International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH). 2019. P. 110–113.

23. Tymkiv P., Leshchyshyn Y. Algorithm Reliability of Kalman Filter Coefficients Determination for Low-Intensity Electroretinosignal. IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM). 2019. P.1-5.

24. Leschyshyn Y., Semchyshyn O. Periodically correlated heart rate variability detection by Neyman - Pearson criterion. 9th International Conference - The Experience of Designing and Applications of CAD Systems in Microelectronics. 2007. P. 139–140.

25. Стручок В.С. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання «Безпека в надзвичайних ситуаціях» / Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., –156 с.

26. Стручок В.С. Навчальний посібник «Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека»» / Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с.

Додаток А
Тези конференцій

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет у Кошице (Словаччина)
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)
Краківський економічний університет (Польща)
Вроцлавський економічний університет (Польща)
Університет «Опольська Політехніка» (Польща)
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Вінницький національний аграрний університет
Львівський національний університет ім. І. Франка
Головне управління Пенсійного фонду в Тернопільській області
Наукове товариство ім. Шевченка
Тернопільський обласний комунальний інститут післядипломної педагогічної освіти
Сумський державний педагогічний університет
Запорізький національний університет

**АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ
СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Збірник

тез доповідей

**XIV Міжнародної науково-технічної
конференції молодих учених та студентів
11-12 грудня 2025 року**



**УКРАЇНА
ТЕРНОПІЛЬ – 2025**

75.	В.Стецько, М. Приймак, Р. Жаровський МЕТОДИ І ЗАСОБИ ВИСОКОТОЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ НА ПРИКЛАДІ РОБОТИЗОВАНОЇ ГАЗОНОКОСАРКИ		349
76.	Д.П. Стухляк, Д.М. Ярошук РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВОЛОКНА ЗА ЗОБРАЖЕННЯМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО АНАЛІЗУ		351
77.	П.Д. Стухляк, А.О. Петров РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ СКЛАДАННЯ КОНТАКТНОГО РОЗ'ЄМУ PIN HEADER		353
78.	О.І. Суховий ВИКОРИСТАННЯ АНСАМБЛЮ НЕЙРОМЕРЕЖ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ РОЗМІТКИ ДАНИХ ДЛЯ НАВЧАННЯ		355
79.	А. Такварелі, Ю. Лещинин ЗАСТОСУВАННЯ СЕНСОРНИХ БЕЗПРОВІДНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ВИРОБНИЦТВА І СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ		357
80.	А.М.Фаберський СТЕГАНОГРАФІЯ ЗОБРАЖЕНЬ		358
81.	В.Я. Фриз, Р.Б. Трембач, В.В. Левицький АЛГОРИТМ СЦЕНАРНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПРИГОТУВАННЯ ПИВА		359
82.	С.Б. Фундигус ОПТИМІЗАЦІЯ СЕГМЕНТАЦІЇ КОРОЗІЙНИХ ЗОН НА ФЛАНЦЕВИХ З'ЄДНАННЯХ ТРУБОПРОВІДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МОДИФІКОВАНОЇ АРХІТЕКТУРИ U-NET З АДАПТИВНИМ МЕХАНІЗМОМ УВАГИ		361
83.	Г.П. Химич, О.М. Опашний, Р.І. Кондра ДОСЛІДЖЕННЯ ХВИЛЕВІДНИХ НВЧ СТРУКТУР З НЕОДНОРІДНОСТЯМИ У ХВИЛЕВОДАХ		362
84.	О.В. Цвірла, І. В. Мудрий, Н. С. Луцк ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ВИЯВЛЕННЯ ВРАЗЛИВИХ ХЕШ-СТРІЧОК У КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ		364
85.	І. М. Чепіль, В.Д. Тимошук МОДЕЛЬ НАДАННЯ МЕРЕЖЕВИХ СЕРВІСІВ У SDN З ПІДТРИМКОЮ BRING YOUR OWN CONTROL		365
86.	В.О. Чикета, В.Л. Дунець АДАПТИВНІ СТРАТЕГІЇ РУХУ В LiDAR-СИСТЕМІ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ВИЯВЛЕННЯ ТА ВІДСТЕЖЕННЯ БПЛА		367
87.	Т.О. Члек АДАПТИВНІ ФІЛЬТРИ ТА НЕЙРОМЕРЕЖІ ДЛЯ ВИДІЛЕННЯ КОРИСНОГО СИГНАЛУ З ШУМУ В РАДІОКАНАЛАХ		369
88.	Я.М. Чорний ПРИНЦИПИ РОБОТИ АЛГОРИТМУ PROOF OF RANK		370
89.	Р.І. Шмирко ТЕХНОЛОГІЯ Li-Fi: ПЕРЕДАЧА ДАНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ СВІТЛА		373
90.	Д.А. Шупа НЕЙРОІНТЕРФЕЙСИ ПЕРСПЕКТИВИ ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ		374

УДК 004.056

А. Такварелі, Ю. Лещишин, к.т.н.

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

ЗАСТОСУВАННЯ СЕНСОРНИХ БЕЗПРОВІДНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ВИРОБНИЦТВА І СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

A. Takvareli, Yu. Leshchyshyn, Ph.D.

APPLICATION OF WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR MONITORING ELECTRICITY PRODUCTION AND CONSUMPTION

Моніторинг виробництва і споживання електроенергії є звичною практикою при організації роботи промислових електричних мереж. Однак при побудові розподіленої генерації і споживанні електроенергії виникає проблема із віддаленістю об'єктів генерації і споживання, а також розгалуженістю і складною архітектурою побудови такої віддаленої мережі. Тому для вирішення цього завдання доцільно використати існуючі технології побудови сенсорних безпроводних мереж, які також використовуються в пристроях Інтернету речей.

Існуюче різноманіття технологій [1] побудови сенсорних безпроводних мереж при вирішенні технічних задач потребує аналізу і порівняння технологій за певними критеріями такими як: дальність зв'язку, доступність і швидкість розгортання мережі, шифрування обміну даними, швидкість передачі даних та споживання енергії (див.рис. 1) та іншими критеріями. Причому критерії порівняння мають ґрунтуватись на вимогах до надійності зв'язку і його гнучкості і зручності використання.

								
Standard	ZigBee (WPAN)	Low Power Wi-Fi (WLAN)	6LoWPAN (LPWAN)	LoRaWAN (LPWAN)	NB-IoT (LPWAN - cellular)	LTE-M (LPWAN - cellular)	5G (cellular)	Wi-Sun (WPAN)
Nominal range	10 - 100 m	70 m - 225 m	25 - 50 m	2 - 15 Km	1 - 15 Km	1 - 11 Km	up to 100 km	5 - 10 km
Max Data Rate (Kbit/s)	250 Kbps	15 Mbps	250 Kbps	50 Kbps	250 Kbps	1 Mbps	599 Mbps	300 Kbps
Power consumption								

Рисунок 1. Порівняння існуючих технологій побудови сенсорних безпроводних мереж

Із наведеного на рис. 1 переліку технологій найбільш перспективним є використання технології LoRaWAN у варіанті побудови mesh мережі, тобто Meshtastic. Технологія LoRaWAN використовує частоти, що не потребують ліцензування і забезпечує зв'язок на десятки кілометрів. А Mesh-мережа забезпечує надійний зв'язок через проміжні пристрої на значні відстані при відсутності прямої видимості та інших обмеженнях. Пристрої Meshtastic можуть взаємодіяти з різними модулями і пристроями через протоколи що типові для пристроїв Інтернету речей.

Застосування сенсорних безпроводних мереж, зокрема технології Meshtastic для моніторингу виробництва і споживання електроенергії потребує порівняння з іншими технологіями за відповідними критеріями, що потребує подальшого дослідження.

Література

1. The impact of the communication technology protocol on your IoT application's power consumption. URL: <https://saft.com/en/energizing-iot/impact-communication->

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

М А Т Е Р І А Л И

ХІІІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**



17-18 грудня 2025 року

**ТЕРНОПІЛЬ
2025**

A. Siushko, I. Skarga-Bandurova BUILDING AN END-DEVICE SECURITY MONITORING SYSTEM BASED ON OSSEC	
A. Такварелі, Ю. Лещишин КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ВИРОБНИЦТВА І СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ A. Takvareli, Yu. Leshchyshyn COMPUTER SYSTEM FOR MONITORING ELECTRICITY PRODUCTION AND CONSUMPTION	92
Д. Антонюк ВІПРОВАДЖЕННЯ LLM У ВЕБСЕРВІС ДЛЯ ВІДПОВІДЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ AZURE OPENAI D. Antoniuk IMPLEMENTATION OF LLM IN A WEB SERVICE FOR RESPONSES USING AZURE OPENAI	93
С. Третяк, Б. Котельніков ВИБІР ФОРМАТУ ЗБЕРІГАННЯ АДРЕС IPv4-МЕРЕЖ В БАЗАХ ДАНИХ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ШВИДКОСТІ ПОШУКУ S. Tretiak, B. Kotelnikov CHOOSING THE FORMAT FOR STORAGE OF IPv4 NETWORK RANGES IN DATABASES TO OPTIMIZE SEARCH SPEED	94
Я. Чорний ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМУ PROOF OF RANK У БЛОКЧЕЙН-ПРОЕКТАХ Ya. Chornyi APPLICATION OF THE PROOF OF RANK ALGORITHM IN BLOCKCHAIN PROJECTS	96
О. Шарик, Р. Козак МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИЯВЛЕННЯ ВИТОКІВ ДАНИХ У СЕРЕДОВИЩІ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ LINUX O. Sharyk, R. Kozak METHODS AND TOOLS FOR DATA LEAK DETECTION IN THE LINUX OPERATING SYSTEM ENVIRONMENT	98
О. Ярема, Н. Загородна КЛАСИФІКАЦІЯ ТИПІВ ВРАЗЛИВОСТЕЙ ПРОГРАМНОГО КОДУ O. Yarema, N. Zagorodna CLASSIFICATION OF SOFTWARE CODE VULNERABILITY TYPES	99
І. Яремко ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМ ДОСТОВІРНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ В ЛОКАЛЬНИХ ЦИФРОВИХ РЕСУРСАХ I. Yaremko STUDY OF THE PROBLEMS OF INFORMATION CREDIBILITY IN LOCAL DIGITAL RESOURCES	101
І. Яремко АНАЛІЗ РОЛІ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ФОРМУВАННІ ЦИФРОВОЇ ГРОМАДИ I. Yaremko ANALYSIS OF THE ROLE OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE FORMATION OF A DIGITAL COMMUNITY	102
СЕКЦІЯ 3. КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ Р. Андрейчук, В. Скоревич, Л. Дедів, В. Дозорський, О. Дозорська, СПОСІБ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОПРІОЦЕПТИВНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПРОТЕЗА	103

УДК 004.056

А. Такварелі; Ю. Лещишин, к. т. н.

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ВИРОБНИЦТВА І СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

UDC 004.056

A. Takvareli; Yu. Leshchyn, PhD.

COMPUTER SYSTEM FOR MONITORING ELECTRICITY PRODUCTION AND CONSUMPTION

Розвиток автоматизації різних виробничих процесів, що географічно розподілені на значній території потребує забезпечувати обладнання автономним живленням та слідкувати за стабільним енергопостачанням цього обладнання. Для створення постійного і рівномірного живлення використовують сонячні, вітро і гідро міні генеруючі станції, які накопичують енергію в акумуляторних батареях. Відповідно щоб не виникало аварійних відключень електроенергії і відмови промислового обладнання необхідно моніторити процес генерації, накопичення і споживання електроенергії. Причому моніторинг повинен відбуватись постійно і дистанційно, щоб попередити користувача про недостатню генерацію або надмірне споживання електроенергії.

Існуючі комп'ютерні системи моніторингу електроживлення дуже часто не відслідковують весь процес генерації та споживання в цілому, а зосередженні лише на споживанні, зокрема такі пристрої, як розумний енергомонітор Nous D4Z DIN ZigBee 120A [1] або Smart-MAIC D103-11 [2] відслідковують споживання електроенергії по трьох фазах і передають інформацію по безпроводному зв'язку ZigBee або Wi-Fi. Цілісну картину роботи генерації і споживання електроенергії відслідковують лише системи моніторингу і контролю розумного будинку подібні до комунікаційного центру Viemon Ekrano GX [3], однак вони обладнані лише проводними інтерфейсами (VE.Can, VE.Bus, Ethernet) для приєднання різних систем генерації, зберігання або перетворення електроенергії та безпроводними (Wi-Fi, LTE) для підключення Інтернету. Тобто такий комунікаційний центр розрахований на досить централизовану роботу коли генерація, зберігання і споживання знаходяться в межах одного будинку або подвір'я.

Для географічно розподіленого на значній території обладнання необхідно розробити комп'ютерну систему моніторингу, яка матиме функціонал подібний до комунікаційного центру Viemon Ekrano GX та матиме можливість приєднувати безпроводні датчики та виконавчі механізми за допомогою мережі типу ZigBee або LoRaWAN. Така комп'ютерна система буде виконувати моніторинг і керування локальними пристроями, а зберігання інформації та командні керування від користувача буде виконувати із віддаленого пристрою або хмарного сервісу.

Література

1. Розумний енергомонітор Nous D4Z DIN ZigBee 120A. URL: <https://nous.ua/product/rozumniy-energomonitor-nous-d4z-din-zigbee-120a.html> (дата звернення: 02.12.2025).
2. Моніторинг ресурсів на всі випадки! URL: <https://smart-maic.com/uk/> (дата звернення: 02.12.2025).
3. Панель управління Ekrano GX. URL: <https://www.victronenergy.ua/communication-centres/ekrano-gx> (дата звернення: 02.12.2025).

Додаток Б

Скрипт програми

```

/* main.c — ініціалізація HW, створення черг і задач */
#include "main.h"
#include "cmsis_os.h"
#include "lwip.h"
#include "net_task.h"
#include "sensors_task.h"
#include "mqtt_task.h"

QueueHandle_t sensorQueue;

int main(void)
{
    HAL_Init();
    SystemClock_Config();

    MX_GPIO_Init();
    MX_ETH_Init(); // згенеровано CubeMX: Ethernet + PHY
    MX_USB_OTG_FS_PCD_Init(); // за потреби
    MX_FATFS_Init(); // опц.
    MX_FREERTOS_Init(); // зазвичай створює задачі, але ми створимо вручну

    /* створюємо загальні ресурси */
    sensorQueue = xQueueCreate(8, sizeof(SensorData));
    if (sensorQueue == NULL) {
        // обробка помилки
    }

    /* Створюємо задачі */
    xTaskCreate(NetTask, "Net", 512, NULL, tskIDLE_PRIORITY + 3, NULL);
    xTaskCreate(SensorsTask, "Sensors", 256, NULL, tskIDLE_PRIORITY + 1, NULL);
    xTaskCreate(MQTTTask, "MQTT", 1024, NULL, tskIDLE_PRIORITY + 2, NULL);

    vTaskStartScheduler();

    for(;;);
}

/* net_task.c */
#include "net_task.h"
#include "lwip/tcpip.h"
#include "ethernetif.h"

void NetTask(void *argument)
{
    /* Ініціалізація стеку LWIP — якщо не викликалась у MX_LWIP_Init */
    MX_LWIP_Init();

    for(;;) {
        /* обробка вхідних Ethernet-пакетів та таймерів LWIP */
        ethernetif_input(&netif);
        sys_check_timeouts();
        vTaskDelay(pdMS_TO_TICKS(10));
    }
}

/* sensors_task.c */
#include "sensors_task.h"

void SensorsTask(void *argument)

```

```

{
    SensorData data;
    for (;;) {
        data.temperature = Read_Temperature(); // реалізувати
        data.voltage      = Read_Voltage();    // реалізувати ADC+DMA
        data.current      = Read_Current();    // через AFE або INA226

        xQueueSend(sensorQueue, &data, pdMS_TO_TICKS(50));
        vTaskDelay(pdMS_TO_TICKS(1000)); // 1 сек
    }
}

/* mqtt_task.c */
#include "mqtt_task.h"
#include "lwip/sockets.h"
#include "cJSON.h" // за бажанням для JSON
#include "paho_mqtt_embedded_c/MQTTClient.h" // якщо використовуємо Paho

#define BROKER_IP "192.168.0.10"
#define BROKER_PORT 1883
#define CLIENT_ID "stm32f4_node1"
#define TELEMETRY_TOPIC "farm/node1/telemetry"

extern QueueHandle_t sensorQueue;

void MQTTTask(void *argument)
{
    Network network;
    MQTTClient client;
    unsigned char sendBuf[512], readBuf[512];
    MQTTPacket_connectData connectData = MQTTPacket_connectData_initializer;

    NetworkInit(&network);
    while (1) {
        if (NetworkConnect(&network, BROKER_IP, BROKER_PORT) != 0) {
            vTaskDelay(pdMS_TO_TICKS(3000));
            continue;
        }

        MQTTClientInit(&client, &network, 30000, sendBuf, sizeof(sendBuf), readBuf,
sizeof(readBuf));
        connectData.MQTTVersion = 4;
        connectData.clientID.cstring = CLIENT_ID;

        if (MQTTConnect(&client, &connectData) != 0) {
            NetworkDisconnect(&network);
            vTaskDelay(pdMS_TO_TICKS(3000));
            continue;
        }

        for (;;) {
            SensorData sd;
            if (xQueueReceive(sensorQueue, &sd, pdMS_TO_TICKS(2000)) == pdTRUE) {
                char payload[200];
                snprintf(payload, sizeof(payload),
"{\"temp\":%.2f,\"volt\":%.3f,\"curr\":%.3f}", sd.temperature, sd.voltage,
sd.current);

                MQTTMessage message;
                message.qos = QOS0;
                message.retained = 0;
                message.payload = (void*)payload;
                message.payloadlen = strlen(payload);

                if (MQTTPublish(&client, TELEMETRY_TOPIC, &message) != 0) {

```



```
        // публікація не вдалася — можна републікувати або буферизувати
    }
}

/* періодично перевірка пінгів/відновлення */
MQTTYield(&client, 10);
if (!NetworkIsConnected(&network)) break;
}

MQTTDisconnect(&client);
NetworkDisconnect(&network);
vTaskDelay(pdMS_TO_TICKS(2000)); // чек до повторного підключення
}
}
```