

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

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Охорона (назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Методи та засоби побудови інтелектуальних електромереж
Smart Grid з використанням технології LoRa

Виконав: студент 6 курсу групи СІм-61
спеціальності

123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності (напряму підготовки))

Головецький Н.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Баран І.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Тиш Є.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач

кафедри

Осухівська Г.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2024

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

доц. Осухівська Г.М.

(підпис) (прізвище та ініціали)

«11» листопада 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю

123 Комп'ютерна інженерія

студенту

Головецькому Назару Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

Методи та засоби побудови інтелектуальних електромереж
Smart Grid з використанням технології LoRa

Керівник роботи

Баран Ігор Олегович., к.т.н., доц.

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

Затверджені наказом по університету від «29» листопада 2024 року № 4/7-1144

2. Термін подання студентом роботи 20.12.2024

3. Вихідні дані до роботи

наукові літературні джерела

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Концепція Smart Grid. 2 Дослідження технології LoRa.

3. Моделювання роботи LoRa в Smart Grid.

4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

1. Тема, мета, задачі, об'єкт, предмет, новизна дослідження. 2. Актуальність дослідження.

3. Рівні архітектури мереж Smart Grid. Взаємозв'язок архітектури мереж Smart Grid і M2M

4. Модуляція LoRaWAN. 5. Схема роботи LoRa.

6. Параметри скриптів LoRaSim та конфігурації. 7. Експеримент №1. Одна базова станція

8. Експерименти №1 та №3

9. Висновки. Результати проведеного дослідження..

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>Осухівська Г.М., доцент</i>		
<i>Безпека в НС</i>			

7. Дата видачі завдання 11.11.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Аналіз існуючих методів та засобів розв'язання науково-технічних проблем, що відповідають тематиці кваліфікаційної роботи.</i>	20.11-30.12.24	<i>Виконано</i>
2.	<i>Обґрунтування актуальності дослідження</i>	01.12-06.12.24	<i>Виконано</i>
3.	<i>Аналіз предмету дослідження та предметної області</i>	07.12-09.12.24	<i>Виконано</i>
4.	<i>Проведення дослідження методів та засобів аналітичного опрацювання даних</i>	10.12-12.12.24	<i>Виконано</i>
5.	<i>Оформлення розділу «Концепція Smart Grid»</i>	12.12-13.12.24	<i>Виконано</i>
6.	<i>Оформлення розділу «Дослідження технології LoRa»</i>	13.12-14.12.24	<i>Виконано</i>
7.	<i>Оформлення розділу «Моделювання роботи LoRa в Smart Grid»</i>	14.12-15.12.24	<i>Виконано</i>
8.	<i>Оформлення розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»</i>	07.12-12.12.24	<i>Виконано</i>
9.	<i>Нормоконтроль</i>	11.12-14.12.24	
10.	<i>Попередній захист роботи</i>	20.12.24	<i>Виконано</i>
11.	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>	27.12.24	

Студент

(підпис)

Головецький Н.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Баран І.О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Головецький Н.М. Методи та засоби побудови інтелектуальних електромереж Smart Grid з використанням технології LoRa: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія / наук.кер. І.О.Баран. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2024. — 71 с.

Ключові слова: кінцеві пристрої, модуляція, облік електроенергії, передача даних, lora, lorasim, lorawan, m2m, smart grid

У кваліфікаційній роботі було досліджено аспекти використання технології LoRa в інтелектуальних електромережах Smart Grid. Було виконано аналіз основних компонентів концепції Smart Grid, а також розглянуті різні бездротові технології, в т.ч. LoRa, які можуть бути використані для реалізації цієї концепції.

Проведений аналіз показав, що саме LoRa, завдяки своїм технічним параметрам і перевагам щодо інших бездротових технологій, є найкращим варіантом для використання у Smart Grid.

Здійснено оцінку ефективності роботи мережі LoRa для трьох різних конфігурацій (залежності швидкості вилучення даних від відстані між базовими станціями; кількості кінцевих пристроїв; застосування напрямлених антен в кінцевих пристроях). Проведені експерименти свідчать, що ефективність роботи мережі Smart Grid можна покращити, застосовуючи кінцеві пристрої із напрямленими антенами.

ANNOTATION

Holovetskyi N. Methods and means of constructing Smart Grid intelligent power networks using LoRa technology. Master's Graduation Thesis: speciality 123 — Computer engineering / supervisor I.O. Baran. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2024. — 71 p.

Keywords: terminal devices, modulation, electricity accounting, data transmission, lora, lorasim, lorawan, m2m, smart grid

In the thesis, the aspects of using LoRa technology in smart grids were investigated. An analysis of the main components of the Smart Grid concept was performed, as well as various wireless technologies were considered, including LoRa that can be used to implement this concept.

The conducted analysis showed that LoRa, due to its technical parameters and advantages over other wireless technologies, is the best option for use in Smart Grid.

The performance of the LoRa network was evaluated for three different configurations (dependency of data extraction speed on the distance between base stations; the number of end devices; the use of directional antennas in end devices). The conducted experiments show that the efficiency of the Smart Grid network can be improved by using end devices with directional antennas.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. КОНЦЕПЦІЯ SMART GRID.....	12
1.1. Поняття Smart Grid	12
1.2. Нормативне регулювання розвитку мереж Smart Grid	15
1.3. Архітектура Smart Grid	16
1.4. Використання мереж радіодоступу в мережах M2M/Smart Grid	20
1.5. Майбутнє Smart Grid мереж.....	24
1.6. Висновки до розділу	25
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ LORA	26
2.1. Вимоги до інтелектуальних систем обліку	26
2.2. Короткий огляд існуючих проектів LPWAN	30
2.3. Архітектура та класи пристроїв LoRaWAN	31
2.4. Модуляція LoRaWAN	34
2.5. Адаптивна швидкість передачі даних	41
2.6. Висновки до розділу	45
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ LORA В SMART GRID.	46
3.1. Конфігурація параметрів симуляції LoRaSim	46
3.2. Експеримент №1. Одна базова станція	50
3.3. Експеримент №2. Вплив відстані між базовими станціями	54
3.4. Експеримент №3. Вплив спрямованих антен	56
3.5. Висновки до розділу	58
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	59
4.1. Охорона праці	59
4.2. Оцінка дії електромагнітного імпульсу на елементи комп'ютерної системи.	62
4.3. Висновки до розділу	65

ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68
ДОДАТОК А. Тези конференції	
ДОДАТОК Б. Фрагмент початкового коду скрипта logaDir.py	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ADR (Adaptive Data Rate) – адаптивна швидкість передачі даних.

BW (bandwidth) – пропускна здатність (ширина смуги пропускання).

CF (carrier frequency) – несуча частота.

CR (Code Rate) – швидкість кодування.

DER (Data Extraction Rate) – швидкість вилучення даних.

LoRa (Long Range) – пропріетарна запатентована технологія модуляції малопотужної мережі передачі даних.

LoRaSim – дискретно-подійний симулятор для мереж LoRa, який орієнтований на дослідження масштабованості мережі та колізій.

LPWAN (Low-power Wide-area Network) – бездротова технологія передачі невеликих за обсягом даних на далекі відстані

M2M (machine-to-machine) – машино-машинна взаємодія, загальна назва технології, яка дозволяє просто, надійно та вигідно забезпечити передачу даних між різними пристроями.

Smart Grid – розумна електросистема, електрична мережа, що містить різноманітні оперативні та енергоощадні заходи, включаючи розумні лічильники, розумних споживачів, поновлювані джерела енергії та ресурси забезпечення енергоефективності

SF (Spread Factor) – коефіцієнт розширення спектра.

TP (Transmission Power) – готужність передавача.

БС – базова станція.

ІЕМ – інтелектуальна енергетична мережа.

ІСОЕ – інтелектуальні системи обліку електроенергії.

КП – кінцевий пристрій.

ЛЧМ – лінійна частотна модуляція.

ВСТУП

Актуальність теми. Традиційні енергетичні системи ґрунтувалися на засадах, що сформувалися ще на початку минулого століття. Проте за останні десятиліття за рахунок швидкого розвитку техніки значно зросли обсяги енергоспоживання у світі. Це відбилося на тому, що постачальники електроенергії тепер змушені максимально навантажувати електричні мережі та генеруючі джерела, а також шукати нові способи вирішення проблем, що виникають. Впровадження абсолютно нових методик, що базуються на інноваційних технологіях, здатне підняти світову енергетику на новий рівень розвитку.

Зараз у західних країнах широкого поширення набула технологія Smart Grid. По суті, Smart Grid - це досить складна енергетична система, яка об'єднує в єдину ІЕМ постачальників електроенергії, виробників електроенергії та споживачів. Ця концепція передбачає активне застосування нових цифрових технологій, "розумних" багатотарифних лічильників та приладів розподілу електроенергії, на які покладається забезпечення надійності та прозорості різних процесів виробництва, передачі, розподілу та споживання електроенергії. Концепція Smart Grid може дати можливість створення дискретної енергосистеми, яка дозволяє запобігати витоку енергії та боротися з неплатниками більш ефективно. Модернізація традиційних електромереж інфокомунікаційними технологіями, вдосконалена мережева аналітика, використання нових автоматизованих систем управління, приладів збору та обробки інформації, а також віддалений моніторинг та контроль роботи обладнання дозволять продовжити термін експлуатації обладнання енергокомпаній та своєчасно запобігати мережевим збоям.

Реалізувати концепцію Smart Grid можна за допомогою різних рішень. Особливу зацікавленість представляє технологія LoRa, що працює в спектрі частот, що не ліцензуються.

Мета дослідження: вивчення різноманітних аспектів застосування технології LoRa в ІЕМ Smart Grid.

Завдання кваліфікаційної роботи::

- проаналізувати основні напрямки концепції Smart Grid;
- вивчити технічні характеристики технології LoRa і можливі кейси застосування у Smart Grid;
- оцінити роботу Smart Grid мережі на основі LoRa шляхом експериментального моделювання у LoRaSim.

Об'єкт дослідження: технологія LoRa.

Предмет дослідження: аспекти застосування технології LoRa в IEM Smart Grid.

Методи дослідження: фундаментальні положення комп'ютерної інженерії, метод лінійної частотної модуляції та проведення чисельних експериментів симуляції в середовищі LoRaSim.

Наукова новизна отриманих результатів:

- отримав подальшого розвитку спосіб розрахунку впливу ADR даних на збільшення кількості КП LoRaWAN
- запропоновано використовувати КП із напрямленими антенами для підвищення ефективності функціонування IEM Smart Grid.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані в роботі результати моделювання можуть бути використані в реальних Smart Grid мережах для покращення ефективності їх роботи.

Публікації. Окремі результати дослідження апробовано на XII міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» та XII науково-технічній конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» як опубліковані тези доповідей:

1. Головецький Н.М. Управління пристроями в локальній M2M мережі // Інформаційні моделі, системи та технології: Праці XII наук.-техн. конф. (Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 18-19 грудня 2024 р.) с. 120.

2. Головецький Н.М., Баран І.О. Огляд існуючих проектів LPWAN // XIII Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів «АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ» (Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 11-12 грудня 2024 р.) с. 477.

Структура роботи. Робота складається з пояснювальної записки та графічної частини. Пояснювальна записка складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Обсяг роботи: пояснювальна записка – 74 арк. формату А4, графічна частина – 10 аркушів формату А1.

РОЗДІЛ 1

КОНЦЕПЦІЯ SMART GRID

1.1. Поняття Smart Grid

Питання застосування систем управління для обміну даними у M2M мережах без участі людини з кожним роком набуває все більшої актуальності. Особливий інтерес у плані можливих модифікацій становить енергозабезпечення. В галузі енергетики M2M-рішення можуть служити для формування надійного транспортного середовища передачі та розподілу електричної енергії. Зокрема слід розглянути використання мереж M2M в IEM Smart Grid. Фактично цьому і присвячена дана кваліфікаційна, але перш ніж перейти до головного питання, потрібно розібратися, що таке Smart Grid.

Впровадження IEM Smart Grid дозволить вирішити низку проблем, властивих традиційним електричним мережам, серед них:

- централізована генерація електроенергії з односпрямованим потоком від генераторів до споживачів здійснюється неоптимально;
- вік нинішньої інфраструктури нерідко перевищує десятки років, що робить її застарілою;
- можливості управління та моніторингу мають обмеження;
- у процесах генерації електроенергії та планування споживання електроенергії участь споживачів обмежена;
- відсутні автоматичні оповіщення про збої, тобто аварійних служб сигналом до дії вважається безпосередній дзвінок від споживача;
- взаємодія мережі та системи контролю та огляду інфраструктури мережі оперативною службою обмежена.

Останні досягнення технологій M2M виключають втручання людини у пристрої мереж Smart Grid, у процеси керування споживаною потужністю та розподілом електричної енергії. В інтересах мереж Smart Grid мережі M2M обмінюються даними між різними давачами електроенергетичних мереж із

використанням мереж доступу мобільних та фіксованих операторів. Питання сумісності у мережах Smart Grid, масштабованості міжмережевої взаємодії, самоорганізації та безпеки зв'язку також вирішуються на рівні мереж M2M, формуючи новий перспективний сегмент послуг на стику галузі електроенергетики та телекомунікацій [1].

Основними компонентами концепції IEM є:

- системи створення електричної енергії. Модернізація та розробка нових видів систем отримання електричної енергії, засобів для автоматичного управління ними, пристроїв зв'язку для забезпечення обміну інформацією між різними елементами енергетичної системи формують один із напрямків концепції IEM;
- електричні мережі. У майбутньому енергетика буде представлена складною розгалуженою мережею без ієрархічної структури;
- системи моніторингу та самодіагностики електрообладнання. Закони старіння електричної ізоляції, знання закономірностей зміни хімічного складу мастила силових трансформаторів, відомі властивості та особливості часткових розрядів у твердій, рідкій та газоподібній ізоляції, а також у вакуумі, відкривають нові можливості у створенні спеціальних датчиків та надійних алгоритмів діагностики для безперервного моніторингу справності значимих майбутньої мережі, що також є одним із напрямків концепції Smart Grid;
- системи зв'язку та передачі між електроенергетичними об'єктами. Останні кілька років все більшу популярність і поширення набирають мережеві технології Ethernet /Інтернет. Що стосується оптоволоконного зв'язку в релейному захисті, що використовується на даний момент, таке рішення вважається дуже дорогим для розширеного і повсюдного застосування в майбутній концепції Smart Grid [2];
- системи обліку електроенергії. Мікропроцесорні прилади обліку споживання електроенергії («розумні електролічильники») вже далеко не нові пристрої на ринку, і вони з'явилися незалежно від концепції Smart Grid;
- принцип функціонування Smart Grid. Буде тенденція передачі великої кількості функцій одиничним модулям. Деякі фахівці вважають, що всі основні функції IEM Smart Grid повинні бути забезпечені на програмному рівні;

– релейний захист. Згідно з новою концепцією Smart Grid на сьогоднішній день у технічних літературних джерелах вже на досить серйозному рівні ведеться обговорення питань щодо адаптивного релейного захисту, захисту з попереджувальними функціями, захисту з нечіткою логікою, захисту зі штучним інтелектом, захисту на основі нейромереж тощо [2].

На рис. 1.1 наведена будова Smart Grid.

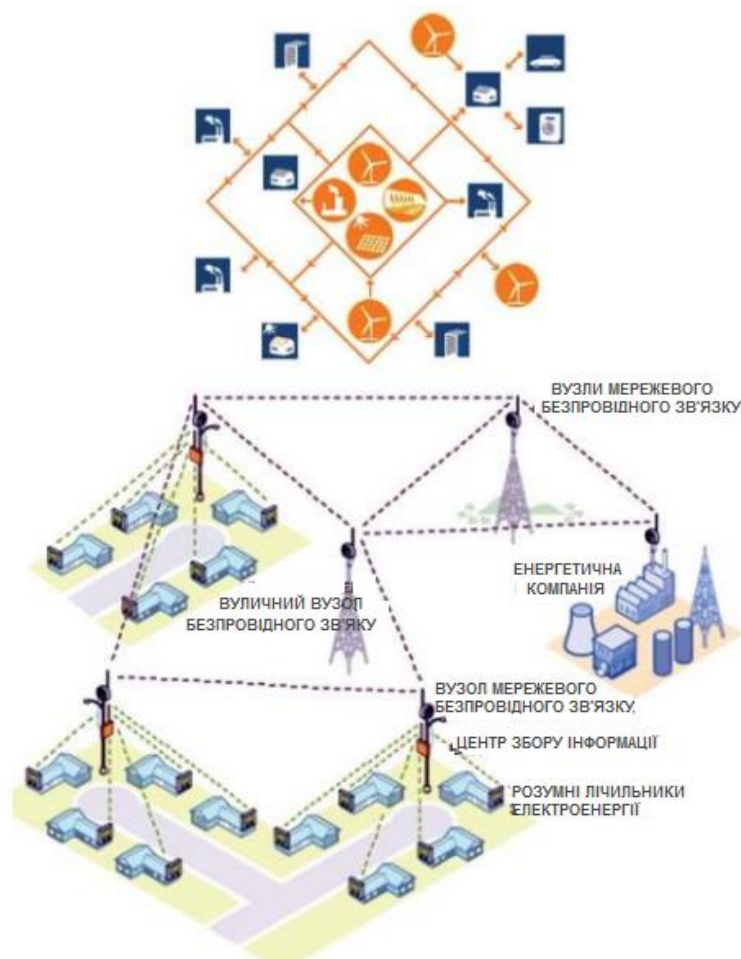


Рис. 1.1. Структура Smart Grid з бездротовою інформаційною мережею управління

У табл. 1.1 наведено порівняння функціональних параметрів звичайної енергетики та системи, побудованої на основі Smart Grid.

**Порівняння властивостей традиційної енергетичної системи з системою
на основі Smart Grid**

Традиційна енергетична система	Енергетична система на основі концепції Smart Grid
Одностороння комунікація між елементами чи її відсутність	Двосторонні комунікації
Централізована генерація - складна інтегрована розподілена генерація	Розподілена генерація
Топологія – переважно радіальна	Переважно мережева
Реакція на наслідки аварії	Реакція на запобігання аварії
Робота обладнання до відмови	Моніторинг та самодіагностика, що продовжують життя обладнання
Ручне відновлення	Автоматичне відновлення – «мережі, що самолікуються»
Схильність до системних аварій	Запобігання розвитку системних аварій
Ручне та фіксоване виділення мережі	Адаптивне виділення
Перевірка обладнання за місцем	Віддалений моніторинг обладнання
Обмежений контроль перетоків потужності	Управління перетікання потужності
Інформація про ціну для споживача, що недоступна або дуже запізнилася.	Ціна у реальному часі

1.2. Нормативне регулювання розвитку мереж Smart Grid

У червні 2011 року Європейська Комісія ухвалила Мандат М/490, згідно з яким Європейський комітет стандартизації (CEN, European Committee for Standardization), Європейський комітет зі стандартизації в електротехніці (CENELEC, European Committee for Electrotechnical Standardization) та Європейський інститут стандартизації електрозв'язку (ETSI) European

Telecommunications Standards Institute) зобов'язані розпочати спільну роботу з розробки стандартів для IEM Smart Grids. У країнах Європейського Союзу метою виконання мандату M/490 є впровадження IEM для зменшення викидів вуглекислого газу та зменшення споживаної електроенергії.

У межах мандата M/490 було виділено такі:

- розробка технічної еталонної архітектури мережі Smart Grid для представлення інформаційних потоків обміну даними між різними системами та пристроями, що виконують завдання IEM, та об'єднання архітектур різних систем;
- створення групи стандартів для обміну інформацією, тобто протоколи зв'язку та моделі даних, та інтеграції користувачів для спільного керування електричною системою;
- організація процесів стандартизації та розробки допоміжних систем, що забезпечують можливості взаємодії, безпеки, конфіденційності у Smart Grid.

Для того, щоб вирішити наведені завдання, в рамках ЄС було сформовано Координаційну групу з IEM (Smart Grid Coordination Group, SG-CG). Наприкінці 2012 року групою було представлено перший комплект стандартів та звіт щодо безпеки даних та забезпечення конфіденційності у мережах Smart Grid. Технічний комітет M2M ETSI в рамках робіт з мандатів M/490, M/441 та M/468 веде розробку технічних вимог до мереж M2M для завдань Smart Grid, включаючи вимоги до послуг та мереж M2M, архітектуру мереж M2M, мережеві протоколи, безпеку мереж M2M, та управління мережами M2M.

В Україні на даний момент немає центру стандартизації в області Smart Grid. Це, у свою чергу, відбивається на тому, що на ринку з'являються різні рішення в галузі контролю та керування електромережами, які будуються без урахування досягнень технології Smart Grid та не завжди характеризуються високою надійністю та безпекою.

1.3. Архітектура Smart Grid

До основних завдань, на вирішення яких спрямоване створення Smart Grid

мереж, відноситься розробка нових видів продуктів і послуг в галузі управління електроприладами, доставки електричної енергії та регулювання енергоспоживання. Щоб досягти поставленої мети, IEM потрібна мережа M2M, яка може покрити всю територію охоплення електромереж та забезпечити за допомогою сучасних технологій зв'язку взаємодію окремих елементів розумних систем, пристроїв, а також додатків, чия сумарна кількість може бути близько сотень мільйонів. Тобто. мережа M2M, розроблена для використання в Smart Grid на основі мобільних та фіксованих мереж доступу, повинна охопити цілі населені пункти та підтримувати необхідні рівні надійності, безпеки та конфіденційності зв'язку окремих елементів розумних мереж, забезпечуючи при цьому необхідні пропускну спроможність та якість послуг.

При розгляді Smart Grid мереж також слід приділити увагу питанням динамічної тарифікації енергії та гнучкого управління різними тарифами, що дає можливість не тільки здійснювати облік електроенергії на основі передоплати, часу використання, але й приймати платежі в режимі реального часу, наприклад, на підзарядку акумулятора електромобіля. Усі перелічені функції можна забезпечити, використовуючи M2M мережі, у яких на спеціалізований M2M- застосунок, що займається тарифікацією електроенергії, передається інформація з КП M2M, наприклад, смарт-лічильників.

Багато програм IEM Smart Grid можуть вимагати наявності можливості збору та зберігання великої кількості інформації, що надходить з безлічі систем та пристроїв споживачів енергії. Такі можливості може надати сервер M2M, що належить оператору мережі M2M, конкретному сервіс-провайдеру або енергетичній компанії.

З метою зручнішого представлення взаємодії мереж Smart Grid та мереж M2M технічним комітетом ETSI мережі Smart Grid були архітектурно розбиті на три рівні (рис. 1.2):

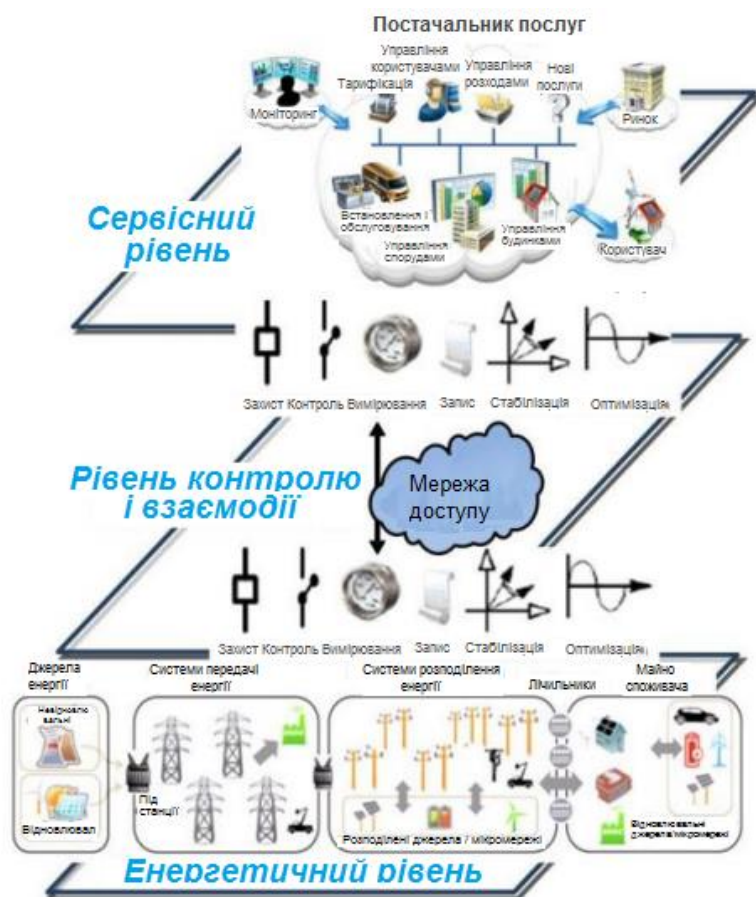


Рис. 1.2. Рівні архітектури мереж Smart Grid згідно ETSI

- енергетичний рівень мережі безпосередньо пов'язаний з процесами на зразок виробництва, розподілу, передачі та споживання електроенергії. Він також включає різні датчики, генератори, системи зберігання і об'єднання енергії, передачі і розподілу енергії;
- на рівні контролю та взаємодії мережі здійснюється контроль електроенергії та взаємодія з іншими системами. Цей рівень включає завдання на кшталт автоматизації підстанцій, моніторингу, діагностики, контролю, синхронізації за часом, вимірювань, технічного обслуговування, управління трафіком, захисту та відновлення, віртуалізації, маршрутизації, технологій віддаленого доступу;
- сервісним рівнем забезпечується надання послуг ІЕМ, серед яких виділяються тарифікація, електронна комерція, надання звітності, управління підписками, активація та управління бізнес-процесами для реалізації електроенергії споживачам.

Відповідно до технічних вимог ETSI, основні елементи, що входять до архітектури мереж M2M [18], представлені трьома доменами:

- домен пристроїв M2M;
- мережевий домен (ядро базової мережі M2M);
- домен додатків.

На рис. 1.3 продемонстровано взаємозв'язок архітектури мереж M2M та архітектури мережі Smart Grid.

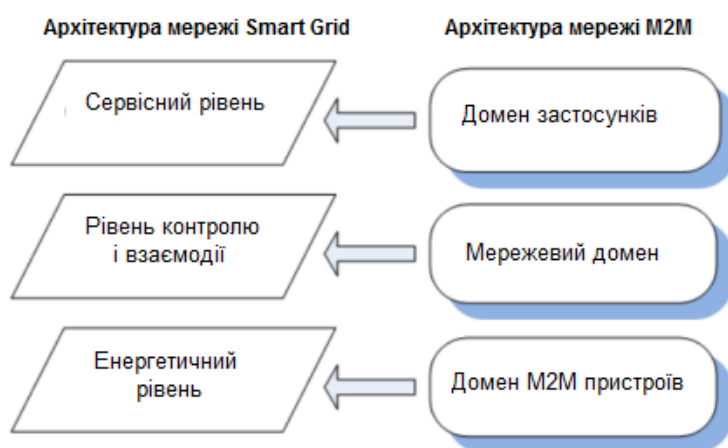


Рис. 1.3. Взаємозв'язок архітектури мереж Smart Grid та M2M

Усі необхідні для мережі Smart Grid на енергетичному рівні давачі повинні бути реалізовані відповідно до вимог M2M пристроїв, які специфіковані для різних типів енергетичних процесів, на зразок виробництва, розподілу, передачі та споживання електроенергії. Такі давачі можна розгорнути як групу M2M пристроїв, з'єднаних з M2M шлюзом. Завдяки мережам M2M з'являється можливість реалізації вимог до рівня контролю та взаємодії IEM Smart Grid, особливо такі показники, як охоплення, доступність, надійність і якість обслуговування, безпека, а також конфіденційність. Надання послуг на сервісному рівні для мереж Smart Grid забезпечується сервером програм M2M з використанням достатньої кількості API.

Відповідно, M2M мережі здатні сформувати один із складових елементів концепції Smart Grid. Активне використання сучасних телекомунікаційних мереж мобільного, а також фіксованого зв'язку дозволить забезпечити обмін даними між

окремими елементами електромережі Smart Grid. До того ж, завдяки цьому можна автоматизувати безліч енергетичних процесів, тим самим мінімізуючи втручання людини в процеси обслуговування електромереж.

Взаємодія окремих елементів M2M мережі може розвиватися за різними сценаріями, залежно від завдань, що реалізуються за допомогою Smart Grid. Пристрої такої мережі можуть вступати у взаємодію через мережу доступу безпосередньо один з одним, або починати взаємодіяти за посередництвом сервера M2M, який працює спільно з додатками M2M. Не виключається можливість прямого підключення до мережі доступу КП M2M, а також непряме з'єднання за допомогою шлюзів M2M, призначення яких полягає в об'єднанні пристроїв M2M в локальні мережі та у забезпеченні міжмережевої взаємодії. Різні сценарії такої взаємодії продемонстровані на рис. 1.4.

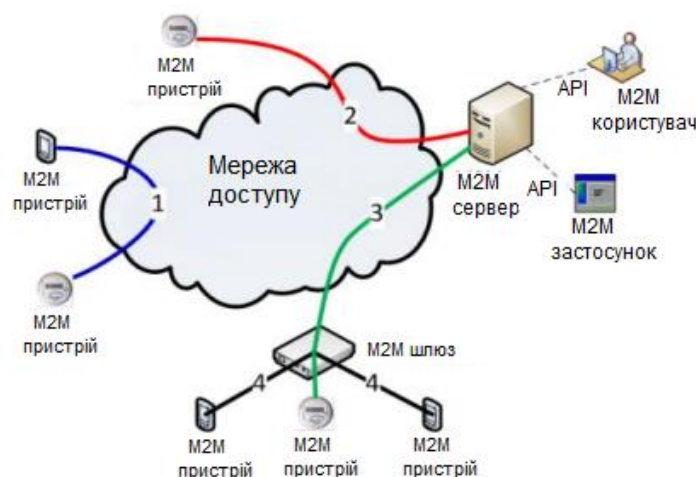


Рис. 1.4. Моделі взаємодії елементів M2M мережі

1.4. Використання мереж радіодоступу в мережах M2M/Smart Grid

До обов'язків мереж M2M, які використовуються спільно з "розумними" електромережами Smart Grid, входить забезпечення інформаційної та мережевої взаємодії пристроїв M2M, що входять до електромереж різних рівнів. У таких електромереж є свої функціональна спрямованість, тип підключених пристроїв і використовуваних мереж та засобів зв'язку як мережі доступу. У побудові цих M2M

мереж можуть бути задіяні як мобільні, і фіксовані мережі доступу. Беручи до уваги той факт, що в мережах M2M об'єднуються мільйони територіально розкиданих пристроїв M2M, зараз, з економічних міркувань, більша перевага надається мережам бездротового доступу. Для M2M мереж технологія бездротового доступу вибирається, виходячи з необхідних швидкостей передачі даних, дальності зв'язку, регуляторних вимог до використання та тривалості автономної роботи КП M2M від акумулятора.

У табл. 1.2 подано порівняння низки технологій бездротового доступу.

Таблиця 1.2

Порівняння технологій бездротового доступу

Технологія бездротового доступу	Швидкість передачі даних	Дальність дій	Час роботи кінцевих пристроїв від батареї (днів)	Вимагає/не вимагає ліцензування
UWB	до 480 Мбіт/с	до 100 м	понад 1000	не вимагає
Bluetooth	721 Кбіт/с	до 100 м	1-7	не вимагає
Z-Wave	40-250 Кбіт/с	до 100 м	до 1000	не вимагає
IEEE 802.15.4 (ZigBee/6LoWPAN)	до 250 Кбіт/с	до 200 м	до 1000	не вимагає
IEEE 802.11 (Wi-Fi)	до 600 Мбіт/с	до 250 м	1-5	не вимагає
DECT	до 552 Кбіт/с	до 300 м	до 20	не вимагає
GSM	до 14,4 Кбіт/с	1-10 км	1-7	вимагає
GPRS	до 170 Кбіт/с	1-10 км	1-7	вимагає
UMTS	до 2 Мбіт/с	1-10 км	1-4	вимагає
LTE	до 302 Мбіт/с	до 100 км	1-2	вимагає
WiMAX	до 75 Мбіт/с	до 50 км	1-2	вимагає
CDMA2000 (EV-DO)	до 73,5 Мбіт/с	до 45 км	1-3	вимагає

Технології бездротового зв'язку з малим радіусом дії, такі як Z-Wave, Ultra Wideband (UWB) та Bluetooth, можна використовувати для організації комунікації між давачами електромереж та M2M шлюзом у домогосподарствах. Якщо пристрої та сервери M2M розподілені по невеликій території, то для організації локальних бездротових мереж M2M можна застосувати технології DECT, Wi-Fi або ZigBee.

Приклад локальної бездротової мережі M2M наведено на рис. 1.5. У цій мережі поєднуються всі домашні електричні прилади та системи на базі мережі радіодоступу Wi-Fi. За допомогою програми M2M, що здійснює моніторинг та керування домашньою електромережею, забезпечується взаємодія всіх елементів. Для домашніх електроприладів можна організувати вихід на зв'язок із зовнішніми програмами M2M за допомогою маршрутизатора Wi-Fi, який в даному випадку стає аналогом шлюзу M2M [3].

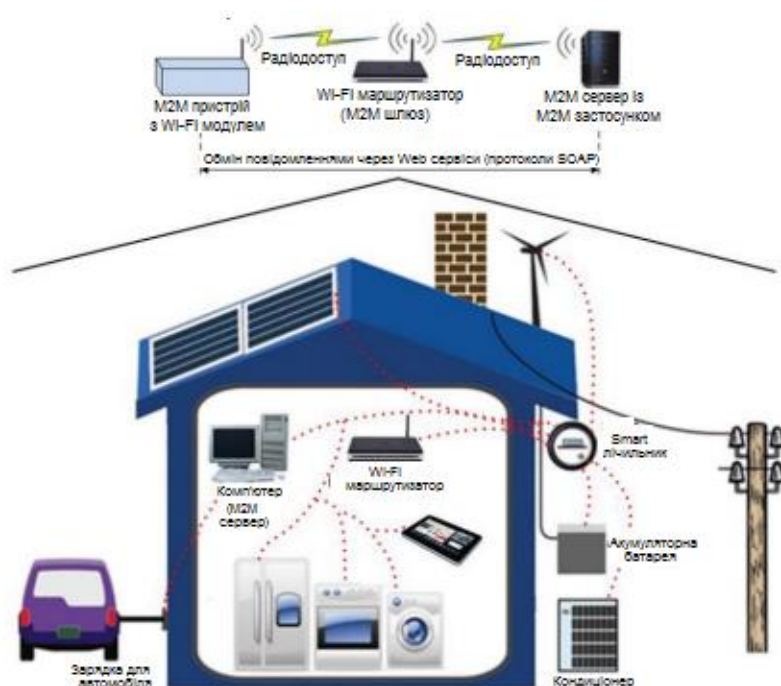


Рис. 1.5. Управління пристроями в локальній M2M мережі

До переваг застосування мереж радіодоступу Wi-Fi, в плані об'єднання домашніх електричних приладів, можна віднести широку поширеність технології, просте і швидке її розгортання і використання на безоплатній основі без необхідності ліцензування, на відміну від мереж радіодоступу операторів

мобільного зв'язку.

У розподільних електричних мережах пристрої M2M потрібні, для того щоб збирати дані з "розумних" лічильників і відправляти отриману інформацію в спеціалізований центр обробки даних, який, у разі необхідності, може відправити команду у відповідь на цей "розумний" лічильник.

Налагоджений обмін даними в розподільчих електромережах відкриває безліч нових можливостей у вимірюваннях споживання енергії, управлінні навантаженням та вимірюванні в режимі реального часу таких енергетичних характеристик, як напруга, сила струму, потужність та частота, тим самим перевіряючи якість та безперервність електроживлення. Для організації взаємодії між пристроями та програмами M2M у розподільній мережі також можна використовувати мобільні мережі доступу 3GPP та M-3GPP.

Як приклад, збирання необхідної інформації можна реалізувати за допомогою M2M-пристрою, який запрограмовано відправляти на сервер M2M дані своїх вимірювань в інтервалом, заданим мережею Smart Grid на основі мережі доступу GSM. Зроблені виміри можна надсилати за допомогою SMS -повідомлень або через канал GPRS за протоколом TCP/IP. Вибір каналу надсилання звітності часто робиться, спираючись на вимоги постачальника програм M2M, а також виходячи з обмежень, пов'язаних із мережею радіодоступу, розгорнутою в зоні дії мережі Smart Grid.

У системах генерації та передачі електроенергії на пристрої M2M покладаються керування та контроль за рядом електричних пристроїв та систем: перемикачі з віддаленим керуванням, індикатори несправностей, захисні реле, системи автоматизації електричних підстанцій, відновлювані джерела енергії та ін.

Якщо виник розрив, пристрій керування електричною підстанцією за допомогою технології Circuit Switched Data (CSD) передає на пристрій M2M керування вітряною турбіною сигнал про відключення через мобільну мережу 3GPP. Отримавши цей сигнал, пристроєм керування вітряною турбіною проводиться відключення подачі електроенергії, потім надсилається зворотний підтверджуючий сигнал на пристрій керування електричною підстанцією.

У порівнянні з каналом GPRS, основний плюс застосування для передачі команд управління CSD -каналу полягає у першочерговому виділенні ресурсів мережі. Крім цього, CSD -каналу має гарантований стандарт і оператор смуги пропускання 9,6 Кбіт/с (у випадку HSCSD - 57,6 Кбіт/с), а також йому властиві стабільність і стійкість, а комутація каналу проводиться за телефонним номером. Беручи до уваги невеликі швидкості передачі даних і більш високу вартість на тлі передачі даних по каналах GPRS/EDGE/HSPA, CSD -канали буде доцільно використовувати у випадках, коли взаємодії між M2M пристроїв рідкісні та обсяг даних, що передаються невеликий.

1.5. Майбутнє Smart Grid мереж

У майбутніх Smart Grid електромережах застосовуватиметься множина різних цифрових технологій з метою забезпечення безпеки, ефективності та надійності мережі [11]. В IEM Smart Grid інтегруватиметься велика кількість розподілених джерел енергії та систем її зберігання, завдяки чому підвищиться надійність такої електромережі, скоротяться втрати при транспортуванні та, за рахунок використання відновлюваних джерел, знизиться негативний вплив на навколишнє середовище. Електромережі будуть забезпечені "інтелектуальними" системами моніторингу та управління мережею, доступ до яких буде не тільки у служб експлуатації для виявлення та усунення аварій, а й у споживачів, щоб дати їм можливість керувати своїм навантаженням та отримувати аналітичну звітність. Завдяки розширеним можливостям тарифікації, енергетичні компанії зможуть керувати попитом на енергію, а користувачі матимуть можливість скорочувати свої витрати на енергоспоживання. У разі появи нових споживачів енергії, наприклад, електромобілів, буде потрібний розвиток зарядних систем, у тому числі і зручних систем оплати та підключення та високих систем безпеки.

Функціональна схема Smart Grid демонструє велику кількість різних джерел та одержувачів інформації, які є складовою майбутніх "розумних" електромереж. Схема також ілюструє складність завдань, що вирішуються такою мережею. На

реалізацію концепції Smart Grid будуть потрібні спільні зусилля енергетичних та телекомунікаційних компаній, об'єднаного інноваційного розвитку інфраструктури як електропостачання, так і зв'язку та розробки оновлених стандартів для електромереж Smart Grid.

1.6. Висновки до розділу

Розглянуто особливості поняття розумних електросистем Smart Grid, описано основні компоненти концепції ІЕМ. Приведено основні нормативно-правові засади регулювання розвитку мереж Smart Grid у світі.

Представлено трирівневу архітектуру Smart Grid та взаємозв'язок архітектури мереж Smart Grid та M2M. Наведено аспекти застосування мереж радіодоступу у мережах M2M/Smart Grid, порівняно технології бездротового доступу.

Відображено прогнозовані моменти майбутнього розвитку Smart Grid мереж.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ LORA

2.1. Вимоги до інтелектуальних систем обліку

Нові розумні лічильники електроенергії повинні бути ключовим елементом майбутніх IEM Smart Grid, оскільки вони надають нові послуги, які неможливо або складно реалізувати за допомогою їх традиційних попередників.

Одним із головних вигравів для споживачів, а також одним із головних нормативних стимулів розумного обліку електроенергії є можливість отримання своєчасних, точних, актуальних показів енергоспоживання. Більше не буде потреби в ручному заповненні рахунок-квитанцій та звірці показань споживання, передбачених системним оператором на основі попередніх показань, з реальними показаннями лічильника, які практично завжди не збігаються. З розумними приладами обліку проміжні звіти про спожиту енергію ґрунтуються на реальних вимірах, що відправляються через цифрову мережу до оператора.

Розумний облік електроенергії також приносить споживачам та суспільству загалом додатковий виграв у вигляді інформації про споживану енергію в режимі реального часу. Це відбивається на більш вищій поінформованості покупців і потенційній економії енергії. Підключивши розумні лічильники до домашньої системи автоматизації, можна значно підвищити ефективність цих процесів.

Ймовірно, головна вигода від інтелектуального обліку, в основному, надається системному оператору. Автоматизація зняття показань лічильників звільняє персонал від трудомісткого процесу ручних вимірів та спрощує адміністрування, зокрема, знижує кількість суперечок щодо регулювання. Це також відкриває системному оператору розгорнуту картину розподільчої мережі в режимі, близькому до реального часу, що дає можливість швидкої ідентифікації проблеми та її вирішення або навіть попередження.

Ключем до досягнення технічного та комерційного успіху ICOE є створення надійної та масштабованої мережі за мінімальних економічних витрат. Це призвело

до того, що багато системних операторів почали експериментувати з різними технологіями або навіть розробляти власні, намагаючись знайти оптимальне співвідношення параметрів, зазначених вище.

LPWAN є хорошим кандидатом в основу концепції Smart Grid, ця технологія має великий радіус дії та невисоку вартість за рахунок показників пропускної здатності. У зв'язку з очевидними перевагами безліч операторів зв'язку почали розгортати LPWAN- мережі, що покривають територію всієї країни, незважаючи на те, що окремі технології, що складають LPWAN, не завжди були завершені.

LoRaWAN – це яскравий приклад технології LPWAN, який дуже добре підходить для ICOE. Технологія LoRa надає великі можливості реалізації концепції розумних електромереж Smart Grid. До того ж, однією з важливих переваг LoRa є використання спектра частот, що не потребує ліцензування. Завдяки цьому значно спроститься процес отримання дозвільної документації, так як оплата та продовження радіочастот займає багато часу та зусиль через недосконалість спеціалізованого онлайн-порталу та трудомісткість операції загалом. Це полегшить та прискорить процес впровадження технології, а також заощадить мільйони на частотних ресурсах.

Сильні сторони LoRa роблять технологію ідеальною для роботи з великою кількістю КП [14]. Впровадивши розумні лічильники, можна вирішити низку серйозних проблем сучасних електричних мереж, модернізувати їх, наприклад, налагодити механізми автоматизованого моніторингу та діагностики електромережі без участі людини або навіть налагодити автоматичну оплату комунальних послуг за допомогою спеціального застосунку. Це, водночас, відкриває нові горизонти послуг на ринку телекомунікацій.

Щоб оцінити можливості застосування технології LoRa, потрібно розібратися з вимогами до інтелектуального обліку електроенергії. Існує кілька типів даних, якими можуть оперувати розумні лічильники, проте найважливішими є покази приладу, миттєві величини та стану.

Під показами приладу, або вимірами, ми маємо на увазі поточне значення величини сумарного споживання, і це значення має вміститися в 32-бітному

беззнаковому цілому числі, що дає максимальну величину, рівну ($2^{32} - 1$), або 4 294 967 295. Це більш ніж достатньо, тому що точність приладів обліку житлових будинків не перевищує 8 знаків.

Миттєве значення визначається як поточне значення певного вимірюваного параметра, такого як миттєва активна потужність, напруга, струм і т.д. Ці величини повинні бути описані 16-бітним знаковим цілим числом, котре набуває значень ($\pm 2^{15} - 1$) або від -32768 до 32768. Дійні числа можуть бути помножені, щоб включити додану точність в ціле число, так само великі значення можуть бути скорочені. Найактуальніші виміри, зроблені в житлових будинках, небажано піддавати будь-яким скороченням.

Поняття стану введено для позначення "так" та "ні". Для опису стану виділено один біт. Крім того, потрібно визначити напрями обміну сигналами. Сигнал "вгору" означає повідомлення, спрямоване від лічильника до мережі. Сигнал "вниз" - це повідомлення, яке передається мережею до лічильника.

У таблиці 2.1 наведено основні функції ISOE.

Таблиця 2.1

Пропускна здатність та час очікування залежно від функцій ISOE

Функції	Максимальна пропускна здатність	Мінімальна пропускна здатність	Час очікування
Автоматичне зняття показів лічильника	32 біт/год	4 біт/день	1 день
Зміна тарифів	4 біт/година	4 біт/день	15 хв
Моніторинг аварійних ситуацій	1 біт/день	1 біт/день	1 хв
Моніторинг у квазі-реальному масштабі часу	200 біт/хв	2,4 Кбіт/день	5 хв

Автоматичне зняття показників - головна функція, котру має виконувати розумний лічильник. Лічильник повинен робити і відправляти до системного оператора, як мінімум, один показ на день, а також, при необхідності, і одне замірювання кожні 15 хвилин. Таким чином, системний оператор матиме доступ до інформації про споживану енергію в день і, у разі потреби, стандартний профіль навантаження споживача енергії (наприклад, дані про погодинне споживання). Автоматичне зняття показів може вимагати максимальну пропускну здатність 32 біт/год. Жорстких вимог до часу очікування (затримки між зняттям показів та прийомом зробленого вимірювання системним оператором) немає.

Зміна тарифу. Диференційовані тарифи на електроенергію ранжуються залежно від часу доби (дві чи три зони доби) або від обсягів її споживання. У разі тарифу, диференційованого за трьома зонами доби, лічильник повинен вміти приймати в напрямку "вниз" чотири різні стани на день. На Заході добу поділяють навіть на 4 зони, тому в деяких джерелах пишуть, що прилад обліку має приймати чотири повідомлення про стан "униз" як мінімум. Маючи в своєму розпорядженні отриману інформацію, лічильник зможе сам перемикатися між тарифними періодами. Для зміни тарифу потрібно максимум 4 біти на годину. Час очікування не критичний.

Моніторинг аварійних ситуацій передбачає відправлення системному оператору інформації про стан мережі. Як правило, системний оператор дізнається про відключення електроенергії після телефонного дзвінка безпосередньо від споживача. Інтелектуальний лічильник може сам сповіщати про збої в автоматичному режимі. Для цього потрібно не так багато даних - одне єдине повідомлення про стан. Час очікування не критичний.

Моніторинг у квазі-реальному часовому масштабі передбачає більш своєчасний звіт про вимірювання енергії. Потрібно відправляти як покази лічильника, а й миттєві значення параметрів електроенергії з інтервалом п'ять хвилин як мінімум. Максимальна частота - один вимір за хвилину. Оскільки потрібно відправляти цілу низку показників, на зразок напруги мережі, активної потужності, коефіцієнта потужності та підсумкового показання лічильника, це

відбивається на тому, що необхідна пропускна здатність корисного навантаження може досягати 2,4 Кбайт/год для трифазних лічильників [4].

2.2. Короткий огляд існуючих проєктів LPWAN

За останні кілька років у світ вийшла низка LPWAN-технологій, що використовують новаторські види радіочастотної модуляції та/або займають ті частини радіочастотного спектру, які тільки недавно почали призначатися для передачі даних. Розглянемо технології, які вже перебувають на етапі комерційного використання [5]. Зрозуміло, це далеко не вичерпний список усіх технологій LPWAN.

Ingenu - це запатентована LPWAN -технологія, розроблена однойменною компанією, відомою в минулому як On-Ramp Wireless, і заснована на множинному доступі з випадковою фазою RPMA (Random Phase Multiple Access) - широкосмугової модуляції з прямим розширенням спектра та множинним доступом. Технологія використовує спектр частот, що не ліцензується, 2,4 ГГц, який відомий також як смуга іншого відомого користувача - Wi-Fi. Завдяки високій частоті Ingenu може забезпечувати досить високу швидкість передачі даних, аж до 624 Кбіт/с, проте радіус охоплення досить обмежений і споживання енергії дещо вище. Технологія забезпечує передачу повідомлень "вгору" та "вниз". Вона користується деякою популярністю у США та різних частинах Європи. Власником та оператором мережі є Ingenu.

Аналогічна бізнес-стратегія була прийнята компанією SigFox та її схожою однойменною технологією LPWAN. SigFox використовує запатентоване ультравузькосмугове рішення, засноване на випадковій частоті та множинному доступі з поділом за часом і працює в неліцензійній смузі частот. Через те, що ширина смуги пропускання обмежена до 100 Гц, швидкість передачі даних досягає лише 100 біт/с, а КП можуть в день передавати тільки 140 повідомлень "вгору", по 12 байт кожне, і приймати 4 повідомлення "вниз" з 8 байт. Технологія використовується переважно у країнах Європи.

Semtech застосовує інший підхід до технології LoRaWAN. LoRaWAN - це мережевий протокол, надбудова методу модуляції LoRa. Ця модуляція використовує розширення спектру методом ЛЧМ, завдяки чому досягається стійкість до інтерференції, багатопроменевого поширення та доплерівського ефекту. Як і SigFox, Semtech працює в спектрі частот, що не ліцензується, і виділяє як мінімум 3 канали з мінімальною шириною смуги пропускання 125 КГц кожен. У зв'язку з цим досягається швидкість передачі до 27 Кбіт/с і максимальна довжина повідомлення 222 байта як у напрямку "вгору", так і в напрямку "вниз". На відміну від перших компаній, Semtech забезпечує лише радіочастотне обладнання та дає клієнтам самим встановлювати та експлуатувати свою власну мережу LPWAN.

Судячи зі специфікації, Ingenu і LoRaWAN здатні забезпечити виконання всіх функцій, розглянутих у попередньому підрозділі (табл. 2.1). SigFox не може забезпечити моніторинг у квазі-реальному масштабі часу і лише частково підтримує функцію зміни тарифу. Грунтуючись на специфікації та напіввідкритому характері LoRaWAN, розглянемо роботу технології детальніше.

2.3. Архітектура та класи пристроїв LoRaWAN

У той час як специфікація LoRaWAN визначає лише доступ до середовища (рівні 2 і 3 моделі OSI), загальна схема топології мережі виглядає так, як наведено на рис. 2.1.

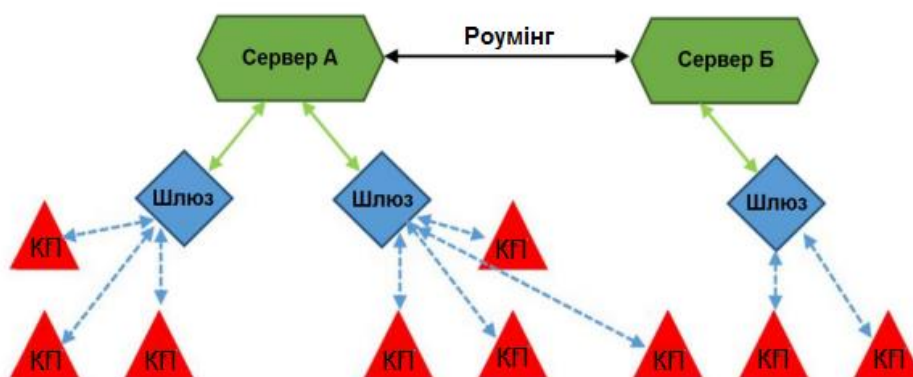


Рис. 2.1. Топологія LoRaWAN

Зазвичай мережа є «зірковою» топологією "star-of-stars", в якій шлюзи приймають повідомлення, що передаються КП, і пересилають їх через IP-мережу до сервера. Мережевий сервер - це програма, що працює на одному або більше фізичних серверах, який володіє списком КП та їх власників. Він надсилає повідомлення власнику. Корисне навантаження шифрується КП за допомогою ключа, відомому лише власнику. Отримавши повідомлення від мережевого сервера, власник може розшифрувати та отримати корисне навантаження.

Ця специфічна топологія має деякі цікаві переваги. У досить щільній мережі LoRaWAN повідомлення, передане пристроєм, може бути прийнято кількома шлюзами та перенаправлено до сервера мережі. Мережевий сервер пересилає власнику лише перше прийняте повідомлення, а також обчислює силу сигналу КП для кожного шлюзу, який прийняв це повідомлення. Ця дія дозволяє серверу вибрати найкращий шлюз у зоні досяжності для можливої передачі повідомлення "вниз" до пристрою.

Якщо отримане повідомлення надійшло від пристрою, власник якого не був зареєстрований мережевим сервером, то воно, зазвичай, відкидається. Однак подібні повідомлення можна переслати далі до сервера іншого оператора LoRaWAN-мережі за умов так званого роумінгового договору. Цей сторонній оператор може перевірити пристрій незалежно від його власного реєстру. За допомогою роумінгового договору щільність покриття LoRaWAN-мережі можна суттєво розширити, тому що зони покриття мереж різних операторів та їх шлюзів об'єднуються. Цілісності повідомлень ніщо не загрожує, оскільки корисне навантаження може бути розшифроване лише його власником.

Що стосується ICOE, ця гнучкість дає багато переваг. Системний оператор може покластися на комерційні LoRaWAN -мережі, якщо є, а свої мережі розгорнути в тих місцях, де немає надійного охоплення. На умовах роумінгових угод з комерційними операторами, повідомлення будуть відкрито маршрутизуватися до власника або оператора пристроїв. Мережевий сервер також може бути винесений на аутсорсинг, наприклад, комерційного оператора зв'язку, тим самим мінімізувавши технічні та адміністративні витрати системного

оператора. Системному оператору необхідно лише вести реєстр КП та пов'язаних із ними компаній.

Специфікація LoRaWAN описує три класи КП. Таким чином, мережа підтримує: клас А (обов'язковий), клас В і клас С (обидва не є обов'язковими).

КП класу А здійснює відправку повідомлень "вгору" відповідно до їхнього власного розкладу, а після передачі в очікуванні повідомлень "вниз" відкривають два тимчасові вікна на прийом (рис. 2.2). Решту часу лічильник може перебувати в сплячому енергозберігаючому режимі. Таким чином, передача даних від сервера можлива лише після виходу на зв'язок КП.

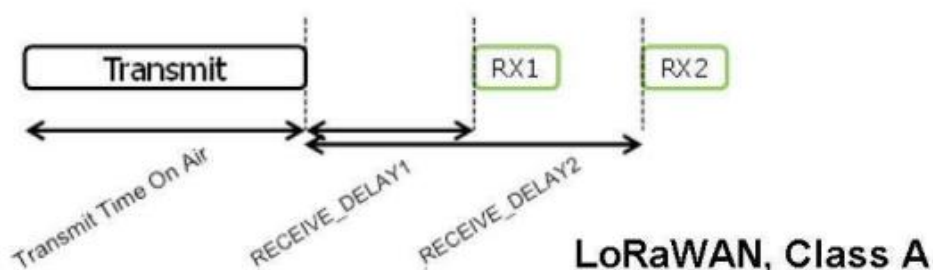


Рис. 2.2. Схема роботи пристроїв класу А

Пристрої класу В відкривають додаткові вікна прийому в задані інтервали часу. Пристрої, що працюють у класі В, вимагають виняткової узгодженості в часі з мережею і, як наслідок, регулярно синхронізуються з мережею за допомогою повідомлень синхронізації, або маячків, що передаються шлюзами.

І, нарешті, пристрої класу С мають відкриті вікна прийому, крім проміжків, коли вони самі передають повідомлення. Цей клас пристроїв забезпечує найменший час очікування у напрямку "вниз", але водночас споживають найбільшу кількість енергії (рис. 2.3).

У випадку ISOE всі три класи відкривають хороші можливості. Усі класи підходять для автоматичного зняття показників. Клас С найкраще підходить для зміни тарифу через короткий час очікування повідомлень "вниз". Клас А - ідеальне рішення для моніторингу аварійних ситуацій через низьке енергоспоживання, через що навіть у разі відключення електроенергії КП зможе функціонувати,

зокрема, завдяки маленькому інтегрованому суперконденсатору.

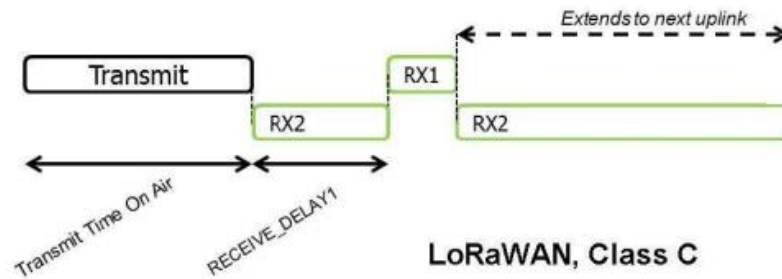


Рис. 2.3. Схема роботи пристроїв класу С

Теоретично, специфікація LoRaWAN дозволяє КП на ходу перемикатися між класами. Це надає додаткової гнучкості мережі, лічильник може функціонувати в режимі класу С, а у разі відключення електрики переключитися на енергозберігаючий клас А.

2.4. Модуляція LoRaWAN

LoRaWAN працює у радіочастотному діапазоні 863-870 МГц. Специфікація LoRaWAN визначає три обов'язкові радіочастотні піддіапазони, або каналів (868,1, 868,3 і 868,5) [26], але також є можливість організації додаткових каналів між мережею і КП в залежності від ємності шлюзу. Нинішні шлюзи підтримують у сумі як мінімум 8 каналів, а КП застосовують псевдовипадкову перебудову робочої частоти, щоб уникнути колізій та перешкод.

Цими каналами повідомлення передаються, відповідно до SF.

SF визначається як:

$$SF = \log_2 \frac{R_C}{R_S}, \quad (2.1)$$

де R_C - швидкість передачі даних, R_S - швидкість зміни радіоімпульсу з лінійним наростанням частоти (ЛЧМ).

Модуляція LoRaWAN заснована на радіосигналі з ЛЧМ. Таким чином, концепція модуляції з лінійним розширенням спектра є ефективним з точки зору обсягу розрахунків метод демодуляції та декодування ЛЧМ-сигналів. Метод ґрунтується на дискретному перетворенні Фур'є (ДПФ).

Бездротова технологія LoRa заснована на системі модуляції з розширенням спектра методом ЛЧМ. Квадратурний ЛЧМ-сигнал виглядає так:

$$s(t) = e^{j(2\pi f_c t + 2\pi \frac{\beta}{2} t^2)}, \quad (2.2)$$

де f_c - несуча частота, β - база, або крутість зміни частоти ЛЧМ-сигналу, що дорівнює відношенню BW до тривалості сигналу T_{symb} (time symbol)

$$\beta = \frac{BW}{T_{\text{symb}}}. \quad (2.3)$$

Тривалість сигналу T_{symb} визначається, як:

$$T_{\text{symb}} = \frac{2^{SF}}{BW} CR, \quad (2.4)$$

де SF змінюється в діапазоні від 7 до 12, що визначає розрядність символу в бітах за час T_{symb} , тобто кількість біт на закодований символ, CR.

На рис. 2.4 представлені ЛЧМ-сигнали, нормовані за T_{symb} :

Для рис.2.4 а) сигнал, що відповідає лінійно зростаючому закону зміни частоти ($\beta > 0$); б) сигнал, що відповідає лінійно спадному закону зміни частоти ($\beta < 0$). Оскільки $BW = f_1 - f_0$, то при $f_1 > f_0$ отримуємо позитивний нахил, а при $f_1 < f_0$ - негативний.

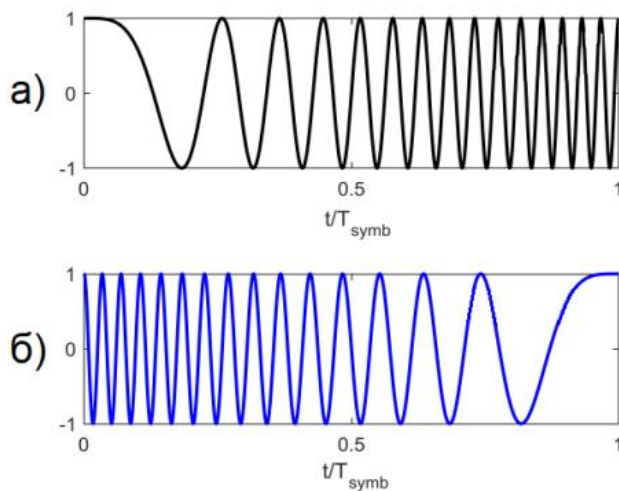


Рис. 2.4. ЛЧМ-сигнали та їх закони зміни частоти

Відповідно до специфікації LoRa, параметри BW, SF та CR можуть набувати лише значень, зазначених у табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Значення параметрів BW, SF та CR

Ширина спектру (BW)	від 125 КГц до 500 КГц
Коефіцієнт розширення спектра (SF)	від 7 до 12
Швидкість кодування (CR)	від 1 до 4

Коливання частоти ЛЧМ-сигналу показано на рис. 2.5. Даний графік дозволяє оцінити тривалість сигналу T_{symb} у межах заданого діапазону BW. Також є можливість робити висновки щодо крутості зміни ЛЧМ-сигналу.

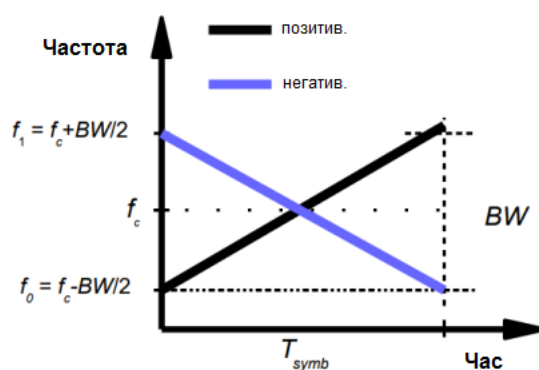


Рис. 2.5. Спектральне представлення: позитивний та негативний нахили

Пакет LoRa, зображений на рис. 2.6, складається з преамбули і поля даних. Преамбула формується із шести ЛЧМ-сигналів з позитивним нахилом та двох ЛЧМ-сигналів з негативним нахилом, налаштованих під певні значення SF та BW. Поле даних включає додатковий заголовок корисних даних і циклічний надлишковий код (cyclic redundancy check, CRC).



Рис. 2.6. Пакет LoRa, що складається з преамбули та поля даних

ЛЧМ LoRa дозволяє генерувати символи в залежності від значення SF для заданої BW. У ЛЧМ кодування символів та модуляція засновані на значеннях SF у межах фіксованої BW.

Аналогічно маніпуляції, SF відповідає кількості бітів на символ. Отже, згідно з (2.4), при SF=7 можна закодувати 128 символів протягом часу T_{symb} у межах спектра BW. Для того щоб відрізнити символи один від одного за допомогою сигналу ЛЧМ, використовується циклічне зміщення cs (cyclic shift):

$$cs = \frac{sv}{2^{SF}} T_{\text{symb}}, \quad (2.5)$$

де sv (symbol value) відповідає значенню символу (від 0 до $2^{SF} - 1$).

Вихідний символ є ЛЧМ-сигналом з позитивним нахилом при sv=0. Таке кодування зі зміщенням збільшує кількість символів у 2^{SF} рази. При sv=16 відхилення від початкового ЛЧМ-сигналу становить $16/128 T_{\text{symb}}$.

Рис. 2.7 демонструє спектрограми для двох значень sv: 16 та 112 при SF=7.

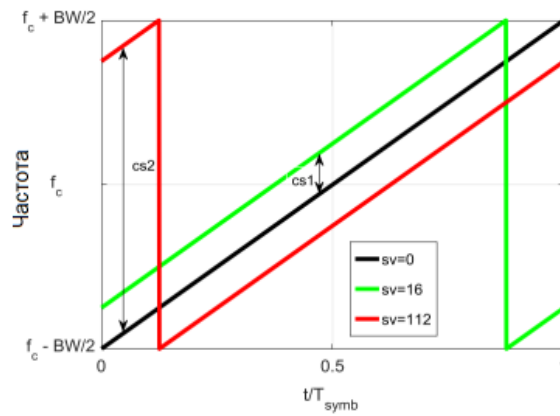


Рис. 2.7. Циклічне зміщення ЛЧМ-сигналу при SF=7

Таким чином sv відповідає затримці в часі, яка прив'язується до T_{symb} . Ця характеристика дає можливість детектувати і декодувати 2^{SF} символів та є ефективним у обчислювальному плані методом.

Процес ЛЧМ демодуляції LoRa ґрунтується на простій ідеї когерентної демодуляції.

На рис. 2.8 представлена схема обробки сигналу за запропонованим методом, де $d[n]$ визначається, як:

$$d[n] = r[n] \cdot s^*[n], \quad (2.6)$$

де $r[n]$ – прийнятий ЛЧМ-сигнал; $s^*[n]$ - це комплексно-спряжене $s[n]$, наприклад, ЛЧМ-сигнал із негативним нахилом при $sv=0$.

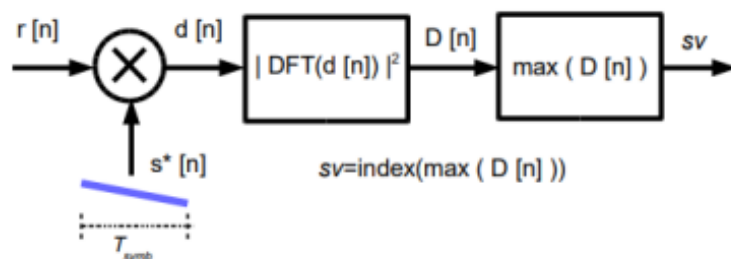


Рис. 2.8. Концепція ЛЧМ-детектування LoRa

$D[n]$ - це квадрат модуля комплексного числа $d[n]$ у ДПФ. Значення символу

sv відповідає порядковому номеру максимального значення $D[n]$.

На рис. 2.9 показаний результат обробки сигналу, згенерованого за допомогою циклічного зміщення cs, зображеного на рис. 2.7, за схемою, зображеною на рис. 2.8.

Оскільки SF дорівнює 7, то $g[p]$ складається із 128 можливих значень (від 0 до 127). Таким чином, циклічне усунення cs, введене в процесі кодування, встановлює коректне декодування символів [6].

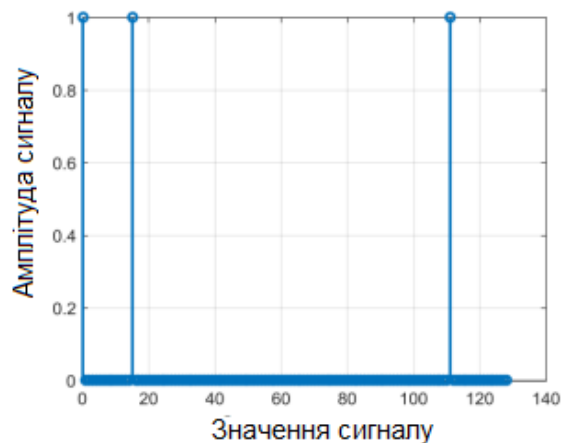


Рис. 2.9. Декодовані сигнали LoRa: 0, 16 та 112

На рис. 2.10 показано функціональну схему ЛЧМ. Відображення символів здійснюється, згідно з кодом Грея, який гарантує, що в комбінації бітів суміжні символи розташовуються з різницею тільки в одну позицію [9].

Вихідний ЛЧМ-сигнал cs залежить від SF, несучої частоти f_c і BW. Модель каналу ґрунтується на адитивному білому гауссівському шумі (АБГШ) з регульованим відношенням сигнал/шум (ВСШ).

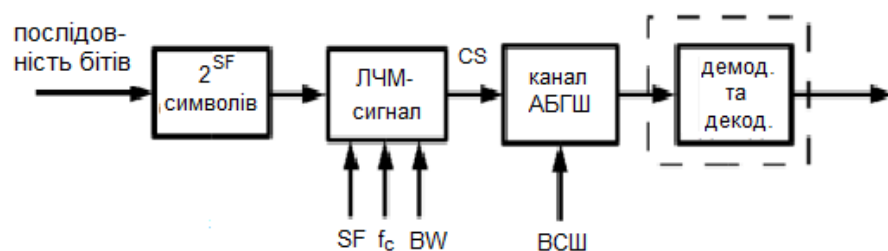


Рис. 2.10. Схема роботи LoRa

Блок, обмежений пунктирною лінією, що складається з демодулятора та декодера, працює за алгоритмом, зображеним на рис. 2.8.

Спектрограма трьох ЛЧМ-сигналів з позитивним нахилом, шириною спектра 125 КГц, відношенням сигнал/шум 10 дБ показано на рис. 2.11.

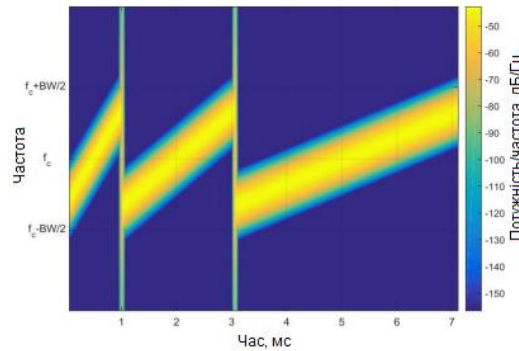


Рис. 2.11. ЛЧМ-сигнали при SF, рівних 7, 8 і 9

Значення SF кожного ЛЧМ-сигналу рівні 7, 8 і 9 при CR=1. При даних варіантах конфігурації T_{sympb} складала відповідно 1 мс, 2 мс і 4 мс.

Таким чином, збільшення SF на одиницю призводить до збільшення тривалості сигналу T_{sympb} в два рази, як і було зазначено у формулі (2.3).

На рис. 2.12 показана спектрограма преамбули при SF=7, що складається з 6 ЛЧМ-сигналів з позитивним нахилом та двох ЛЧМ-сигналів з негативним нахилом [8], а також наступних символів: 0, 16 та 112.

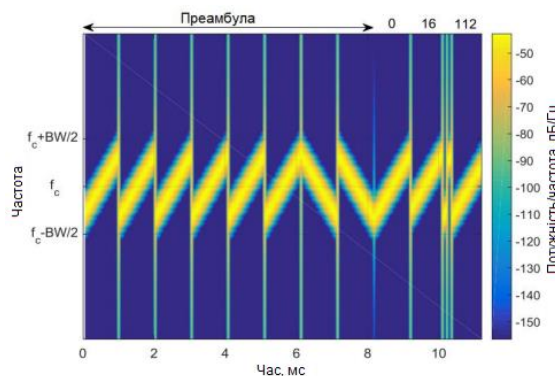


Рис. 2.12. Спектрограма пакету при SF=7 sp символами 0, 16 и 112

Кожен прийнятий ЛЧМ-сигнал $r[p]$ демодулюється та декодується за

алгоритмом, зображеним на рис. 2.8. На рис. 2.13 показані сигнали $D[n]$ для символів 0, 16 та 112 після відкидання преамбули.

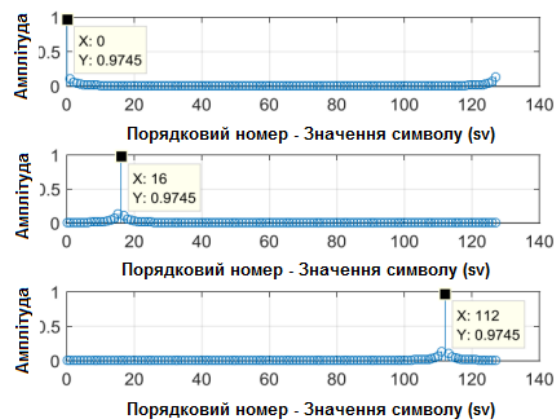


Рис. 2.13. Сигнали $D[n]$ в ДФТ ЛЧМ для символів 0, 16 и 112

Отже, виходить, що порядковий номер максимального значення $D[n]$ відповідає переданому символу sv .

Рис. 2.14 демонструє пакет LoRa при ВСШ=-10 дБ. Спектральна щільність потужності ЛЧМ недостатньо чітка через вплив АБГШ. Тим не менш, ЛЧМ-сигнали з позитивним і негативним нахилом можна розглянути.

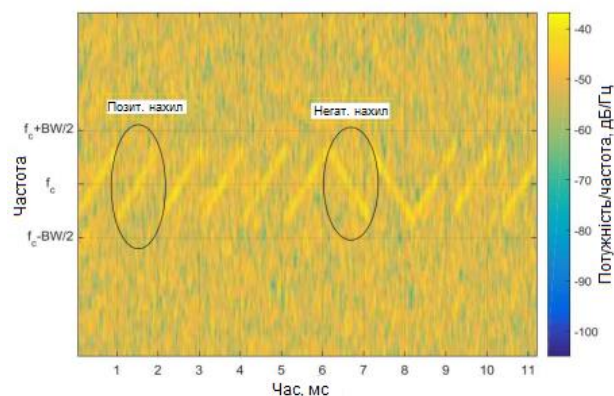


Рис. 2.14. Спектрограма пакета ЛЧМ LoRa при $SF=7$, ВСШ=-10 дБ

2.5. Адаптивна швидкість передачі даних

SF визначає співвідношення між швидкістю передачі і шириною смуги.

Повідомлення, передані при найвищому значенні коефіцієнта, найменш сприйнятливі до таких негативних ефектів, як згасання, але їх транспортування займає більше часу. Відповідно, при низьких значеннях SF швидкість передачі зростає, але сигнал сильніше піддається впливу інтерференції, зменшення ширини спектра, що використовується. Кодування символів ортогональне, що дозволяє передавати сигнали з різними значеннями коефіцієнта розширення спектра в тому самому каналу одночасно. Специфікація LoRaWAN визначає шість значень SF (від 7 до 12). Разом з двома можливими каналами шириною 125 КГц і 250 КГц можна досягти швидкості передачі даних від DR0 до DR6 та супутньої швидкості передачі даних фізично від 250 біт/с до 11 Кбіт/с.

На суміщеному GMSK каналі модем LoRa, завдяки фільтру Гауса, здатний придушувати перешкоди до 19,5 дБ. Іншими словами, такий модем має здатність приймати і демодулювати сигнали, рівень яких нижче рівня перешкод (або шумів) на 19,5 дБ, незважаючи на те, що для коректної демодуляції для більшості систем з частотною маніпуляцією FSK (Frequency Shift Keying) потрібна потужність сигналу вище рівня шуму на 8-10 дБ, як мінімум.

Такий імунітет до перешкод дає можливість використовувати просту і порівняно недорогу систему на основі LoRa в місцях з тяжкою спектральною обстановкою, наприклад, у сучасних мегаполісах або в гібридних мережах зв'язку. У подібних випадках, використовуючи технологію LoRa, можна розширити радіус покриття мереж зв'язку.

КП LoRaWAN можуть використовувати ADR змінюючи коефіцієнт SF та ширину смуги пропускання між повідомленнями. Зокрема, це особливий інтерес для ІСОЕ, тому що безліч приладів обліку комунальних служб часто встановлюються у підвалах чи інших місцях із поганим радіозв'язком. КП LoRaWAN здатний вибрати потрібну швидкість передачі даних без втручання системного оператора.

Мережевий сервер технології LoRa регулює швидкість передачі даних і потужність радіочастотного виходу всіх КП окремо, залежно від відстані між шлюзом і цими пристроями, продовжуючи термін служби акумулятора кінцевого

вузла і оптимізуючи загальну пропускну здатність мережі. Дані маніпуляції реалізуються у вигляді алгоритму ADR. Саме завдяки ADR забезпечуються високі показники продуктивності мережі та є можливість здійснювати необхідну масштабованість.

ADR можна охарактеризувати як метод, за якого реальна швидкість передачі коригується так, щоб була забезпечена надійна доставка пакетів, підтримувалися оптимальна продуктивність мережі та потрібний масштаб з метою завантаження мережі. Наприклад, ближчі розташовані до LoRa -шлюзу вузли працюватимуть більш високими швидкостями передачі. Як наслідок, такі вузли матимуть менші час активної передачі за радіоканалом і вихідну потужність.

Мережу ж LoRaWAN ймовірно розгорнути із мінімальними капіталовкладеннями у інфраструктуру із ємністю, котра потрібна власне для даного кейсу застосування. Якщо в мережі велика кількість шлюзів, тоді ADR зміщуватиме швидкості у бік підвищення і тим самим дозволить забезпечити масштабування ємності такої мережі від шести до восьми разів.

Протоколом LoRaWAN визначено конкретну групу швидкостей передачі даних (рис. 2.15):

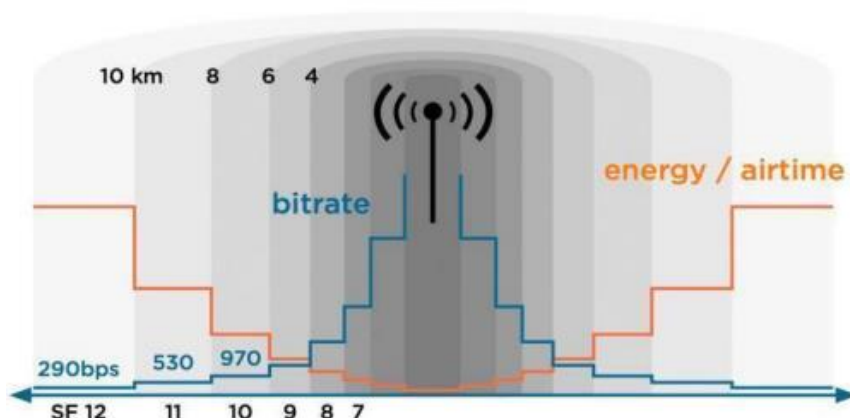


Рис. 2.15. Швидкість у мережах LoRaWAN

Оскільки радіочастотний діапазон 863-870 МГц є неліцензійним, користувачі повинні дотримуватись робочого циклу 1%. Це означає, що жодному користувачеві не дозволяється займати певний частотний канал понад 1% від часу. Щоб уникнути

колізій, наприклад, випадок, коли два КП намагаються передати дані по тому самому каналу з однаковими значеннями SF, ніякий КП не повинен займати канал тривалий час. Специфікація LoRaWAN як наслідок обмежує максимальне корисне навантаження повідомлення. На швидкості передачі DR6 корисне навантаження може містити 242 байта, на швидкості DR0 це навантаження обмежується 51 байтом.

Підсумок наведено у табл. 2.3.

Таблиця 2.3

**Допустимі швидкості передачі даних та розміри корисного навантаження
LoRaWAN**

Швидкість передачі даних	Коефіцієнт розширення SF	Ширина смуги пропускання	Бітрейт	Максимальна корисна навантаження
0	12	125 КГц	250 біт/с	51 байт
1	11	125 КГц	440 біт/с	51 байт
2	10	125 КГц	980 біт/с	51 байт
3	9	125 КГц	1,76 Кбіт/с	115 байт
4	8	125 КГц	3,13 Кбіт/с	242 байт
5	7	125 КГц	5,47 Кбіт/с	242 байт
6	6	250 КГц	11 Кбіт/с	242 байт

Для застосунків інтелектуального обліку обмеження корисного навантаження до 51 байт є гарною практикою, щоб уникнути проблем із передачею на низьких швидкостях. Як було зазначено раніше, цього більш ніж достатньо всім функцій. Обмеження робочого циклу перешкоджає надмірному збільшенню масштабів однієї комірки мережі LoRaWAN, що включає територію і КП, що обслуговуються одним шлюзом.

Згідно з джерелом [7], максимальна продуктивність на один КП

(пакет/година) різко падає зі збільшенням кількості цих пристроїв, а саме становить всього 7,3 50-байтових пакетів на годину, якщо комірка мережі складається з 5000 КП і використовує тільки стандартні три канали. Це прийнятно, коли справа стосується автоматичного зняття показів лічильника, зміни трафіку та моніторингу аварійних ситуацій, але не моніторингу в реальному часі. У разі ICOE розмір комірки слід підтримувати в розумних межах. Для цього потрібно вибрати відповідне місце розміщення обладнання. Не має особливого сенсу встановлювати шлюзи на висотах, як це зазвичай робиться в радіомовленні, тому що кількість КП, що охоплюються одним шлюзом, буде занадто велика. Більш оптимальним варіантом буде розміщення більшої кількості локальних шлюзів, які б покривали тільки ту частину території, де це покриття потрібно.

Таким чином, завдяки LoRaWAN є можливість створювати глобальні розподілені мережі, в яких працює велика кількість КП. Згідно компанії Semtech, зона обслуговування одного шлюзу LoRa може охопити до п'яти тисяч кінцевих вузлів. Це досягається завдяки:

- топології мережі;
- ADR та адаптивній вихідній потужності пристроїв, що визначаються мережним сервером;
- тимчасовим поділом доступу до середовища;
- частотним поділом каналів;
- особливістю самої LoRa-модуляції, яка дозволяє одночасно демодулювати сигнали, що передаються на різних швидкостях, в одному частотному каналі.

2.6. Висновки до розділу

У цьому розділі досліджена технологія LoRa, зокрема наведено вимоги до ICOE, виконано короткий огляд наявних проектів LPWAN. Також описана архітектура та класи пристроїв LoRaWAN, докладно наведено процес модуляції LoRaWAN. Показано вплив ADR даних на КП LoRaWAN.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ LORA В SMART GRID

3.1. Конфігурація параметрів симуляції LoRaSim

Як було зазначено в попередніх розділах, ключовими елементами ІЕМ є розумні лічильники, які становитимуть основу систем моніторингу та обліку енергоспоживання – одних із основних компонентів концепції Smart Grid. В експериментальній частині роботи буде змодельовано роботу ІЕМ Smart Grid на основі LoRa, а саме проведено оцінку ефективності мережі для кейсу моніторингу. Таким чином, метою третього розділу є отримання реальної картини різних аспектів застосування технології LoRa у системах моніторингу ІЕМ Smart Grid.

Моделювання буде здійснюватись у LoRaSim, який написаний мовою програмування Python 2.7. Симулятор включає чотири скрипти для різних експериментів: `loraDir.py`, `loraDirMulBs.py`, `directionalLoraIntf.py` і `oneDirectionalLoraIntf.py`. Скрипт `loraDir.py` імітує роботу однієї БС, `loraDirMulBs.py` – більш ніж однієї БС (до 24-х), `loraDirMulBs.py` імітує роботу КП з спрямованими антенами, `DirectionalLoraIntf.py` імітує роботу БС із спрямованими антенами та кількох мереж. Усі скрипти вимагають, щоб було встановлено бібліотеки `matplotlib`, `SimPy` і `NumPy` [30].

У LoRaSim можна задавати ряд параметрів, таких як кількість КП, кількість БС (або LoRa -шлюзів), відстань між БС, кількість сторонніх мереж, наявність спрямованих антен. Симулятор також дозволяє проводити перевірку кількості колізій. Більш того, LoRaSim може оцінити споживання енергії усієї мережі. Проте слід пам'ятати, що симулятор розраховує лише енергію, споживану радіостанцією передачі пакетів. Він не враховує час простою чи споживання енергії КП чи самими радіостанціями.

Кожен скрипт має свої вхідні параметри, які неведені на рис. 3.1.

```

loraDir.py: <NODES> <AVGSEND> <EXPERIMENT> <SIMTIME>
[COLLISION];
loraDirMulBS.py: <NODES> <AVGSEND> <EXPERIMENT>
<SIMTIME> <BASESTATIONS> [COLLISION];
directionalLoraIntf.py: <NODES> <AVGSEND> <EXPERIMENT>
<SIMTIME> <BASESTATIONS> <COLLISION> <DIRECTIONALITY>
<NETWORKS> <BASEDIST>;
oneDirectionalLoraIntf.py: <NODES> <AVGSEND>
<EXPERIMENT> <SIMTIME> <BASESTATIONS> <COLLISION>
<DIRECTIONALITY> <NETWORKS> <BASEDIST>.

```

Рис. 3.1. Параметри скриптів LoRaSim

Позначення параметрів:

- NODES – кількість КП на одну БС (шлюз);
- AVGSEND – середній інтервал відправлення пакетів до БС у мілісекундах;
- EXPERIMENT – параметр, що визначає основні конфігурації мережі (від 0 до 5); LoRaSim пропонує шість різних конфігурацій, що відрізняються один від одного коефіцієнтом розширення спектру, шириною смуги пропускання, швидкістю кодування тощо;
- SIMTIME – тривалість симуляції в мілісекундах;
- BASESTATIONS - кількість БС (1, 2, 3, 4, 6, 8 чи 24);
- COLLISION - "1" означає повну перевірку на колізії, "0" - спрощену (за замовчанням); при спрощеній перевірці два пакети накладаються, якщо вони прибувають в один і той же час, на тій же частоті і з тим самим коефіцієнтом розширення спектра; повна перевірка на колізії передбачає "ефект захоплення", при якому один з двох пакетів, що накладаються, все ще може досягти місця призначення в залежності від моменту часу і різниці в потужності прийому;
- DIRECTIONALITY - "1" - КП мають спрямовані антени;
- NETWORKS – кількість мереж LoRa;
- BASEDIST – відстань між двома БС.

Як результат кожної симуляції програма створює файл "expX.dat", у якому "X" - це параметр експерименту (від 0 до 5). Файл містить стовпці, розділені пробілом: кількість КП, колізії, енергоспоживання тощо.

Дані з файлу можна легко візуалізувати, наприклад, за допомогою `gnuplot`.

У цій роботі будуть використовуватися скрипти `loraDir.py` та `directionalLoraIntf.py`. Фрагмент коду скрипта `loraDir.py` наведено в додатку Б.

Розглянемо п'ять основних регульованих параметрів, що визначають роботу передавача LoRa:

1. SF. У технології LoRa коефіцієнт розширення спектра може бути визначений, як співвідношення між швидкістю передачі сигналу елементів і символною швидкістю, яке описується значенням від 7 до 12. SF тісно пов'язаний з такими параметрами, як швидкість кодування і ширина смуги пропускання. Регулюючи значення SF, можна досягти різних швидкостей передачі даних і часу перебування в ефірі. Велике значення коефіцієнта розширення означає низьку швидкість передачі, але великі дальність та чутливість приймача. До того ж, великі значення SF значно впливають на споживання енергії КП.

2. BW. Відповідно до LoRa Alliance, ширина смуги пропускання може приймати значення 125 КГц, 200 КГц та 500 КГц. Більше значення ширини смуги пропускання забезпечує більшу швидкість передачі та менший час ефіру. Однак це зменшує чутливість і, як наслідок, зростає вплив на стійкість до інтерференції.

3. CR. Визначається як кількість бітів попереджувальної корекції помилок (Forward Error Correction, або FEC), які додаються до пакету, що передається з метою гарантувати можливість відновлення пошкоджених даних в результаті інтерференції. Вона може набувати значень 4/5, 4/6, 4/7 або 4/8. CR значно впливає на час передачі: чим більше значення CR, тим більше інформації закладається в корисне навантаження повідомлення і, отже, більше часу передачі. Однак це також покращує захищеність від пакетів помилок.

4. CF. Це центральна частота, яка може бути встановлена між 137 МГц та 1020 МГц з кроком 61 Гц. Більш висока частота означає менший час передачі та розповсюдження.

5. TP. Залежно від того, як влаштований приймач LoRa, TP може набувати значення від -4 дБм до 20 дБм з кроком 1 дБ. Особливості регулювання використання радіочастотних ресурсів та обмеженість апаратного забезпечення

наклали свій слід на дозволені ТР. Таким чином, значення ТР обмежені в межах від 2 дБм до 20 дБм.

У табл. 3.1 наведено параметри конфігурації, які використовуватимуться в моделюванні. У LoRaSim конфігураціям №1, 2 та 3 відповідають параметри <EXPERIMENT> 0, 2 та 4, відповідно. Конф. №1 - це мережа із найменшою швидкістю передачі. Конф. №2 - мережа із найбільшою швидкістю передачі. Конф. №3 використовує параметри, що рекомендуються специфікацією LoRaWAN [24].

Таблиця 3.1

Параметри конфігурації

Параметр	Конфіг. №1	Конфіг. №2	Конфіг. №3
Кількість базових станцій, N	-	-	-
Розмір корисного навантаження, B	20 байт	20 байт	20 байт
Середній період відправлення пакетів, λ	300 000 мс (5 хв)	300 000 мс (5 хв)	300 000 мс (5 хв)
Потужність передавача, TR	14 дБм	14 дБм	14 дБм
Несуча частота, CF	868 МГц	868 МГц	868 МГц
Коефіцієнт розширення спектру, SF	12	7	12
Швидкість кодування, CR	4/8	4/5	4/5
Ширина смуги пропускання, BW	125 КГц	500 КГц	125 КГц

У всіх експериментах розмір пакету за замовчуванням становитиме 20 байт, що є достатнім для підтримки реальних способів застосування, як інтелектуальний облік і, найголовніше, моніторинг. Кількість КП N - це додатне ціле число, яке змінюватиметься під час експериментів. Всі ці пристрої розкидані територією в радіусі R навколо БС.

Відповідно до специфікації різних смарт-лічильників електроенергії, відправлення пакетів можна організувати з періодом від 5 хвилин до одного місяця, залежно від завдань, що виконуються.

Ми припускаємо, що КП відправляють пакети до БС кожні 900 000 мілісекунд, або 15 хвилин, тому що, згідно з різними джерелами, це оптимальний інтервал, з яким розумні лічильники повинні відправляти ряд показників енергії в системах моніторингу. Слід також зазначити, що цей часовий інтервал може змінюватися в залежності від кейсів використання LoRa, наприклад, автоматичне зняття показів електроспоживання в житлових будинках можна проводити щогодини або навіть раз на день.

TP приймемо рівним 14 дБм. Інші параметри такі: CF = 4/8 або 4/5, BW = 125 КГц або 500 КГц, SF = 12 або 7, CF = 868 МГц. У цих експериментах будуть використовуватися такі позначення названих параметрів: TP, CF, SF, BW, CR, X (тимчасовий інтервал відправлення пакетів), B (розмір корисного навантаження повідомлення).

Для оцінки роботи всієї мережі ми будемо використовувати DER та споживання енергії. DER обчислюється за формулою (3.1) [28]:

$$DER = \frac{N_{\text{пер}} - N_{\text{кол}}}{N_{\text{пер}}}, \quad (3.1)$$

де $N_{\text{пер}}$ - кількість переданих пакетів, $N_{\text{кол}}$ - кількість колізій.

Простіше кажучи, DER – це відношення кількості успішно прийнятих пакетів до кількості переданих пакетів за певний проміжок часу. В ідеальних умовах DER = 1 тобто усі передані пакети коректно доставляються до БС.

3.2. Експеримент №1. Одна базова станція

У першому експерименті ми вивчаємо роботу найпростішого випадку мережі LoRa (рис. 3.2), в якому N КП відправляють пакети єдиної БС (LoRa-шлюзу). Для цього експерименту скористаємося трьома конфігураціями, наведеними у табл. 3.1.

Тривалість симуляції становить один день (8640000 мс). Радіус комірки за замовчуванням: R = 99 м.



Рис. 3.2. Мережа для експерименту №1

До програми були внесені такі дані: найменування скрипта (loraDir.py), кількість КП (500), період відправлення пакетів (900 000 мс або кожні 15 хв), конфігурація №2 (в LoRaSim вона позначена числом 2), тривалість симуляції (8640000 мс, або 24 год) та перевірка на колізії (1).

Вхідні дані для конфігурацій №1 - 3 наведені на рис. 3.3.

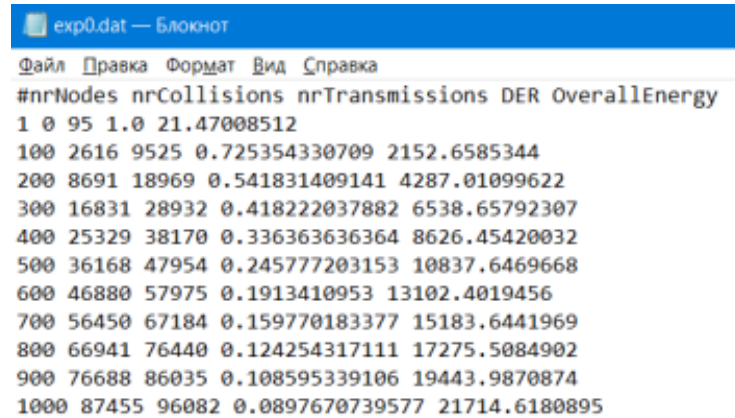
Для конфігурації №1	Для конфігурації №2
python loraDir.py 1 900000 0 86400000 1	python loraDir.py 1 900000 2 86400000 1
python loraDir.py 100 900000 0 86400000 1	python loraDir.py 100 900000 2 86400000 1
python loraDir.py 200 900000 0 86400000 1	python loraDir.py 200 900000 2 86400000 1
python loraDir.py 300 900000 0 86400000 1	python loraDir.py 300 900000 2 86400000 1
python loraDir.py 400 900000 0 86400000 1	python loraDir.py 400 900000 2 86400000 1
python loraDir.py 500 900000 0 86400000 1	python loraDir.py 500 900000 2 86400000 1
python loraDir.py 600 900000 0 86400000 1	python loraDir.py 600 900000 2 86400000 1
python loraDir.py 700 900000 0 86400000 1	python loraDir.py 700 900000 2 86400000 1
python loraDir.py 800 900000 0 86400000 1	python loraDir.py 800 900000 2 86400000 1
python loraDir.py 900 900000 0 86400000 1	python loraDir.py 900 900000 2 86400000 1
python loraDir.py 1000 900000 0 86400000 1	python loraDir.py 1000 900000 2 86400000 1

Для конфігурації №3

```
python loraDir.py 1 900000 4 86400000 1
python loraDir.py 100 900000 4 86400000 1
python loraDir.py 200 900000 4 86400000 1
python loraDir.py 300 900000 4 86400000 1
python loraDir.py 400 900000 4 86400000 1
python loraDir.py 500 900000 4 86400000 1
python loraDir.py 600 900000 4 86400000 1
python loraDir.py 700 900000 4 86400000 1
python loraDir.py 800 900000 4 86400000 1
python loraDir.py 900 900000 4 86400000 1
python loraDir.py 1000 900000 4 86400000 1
```

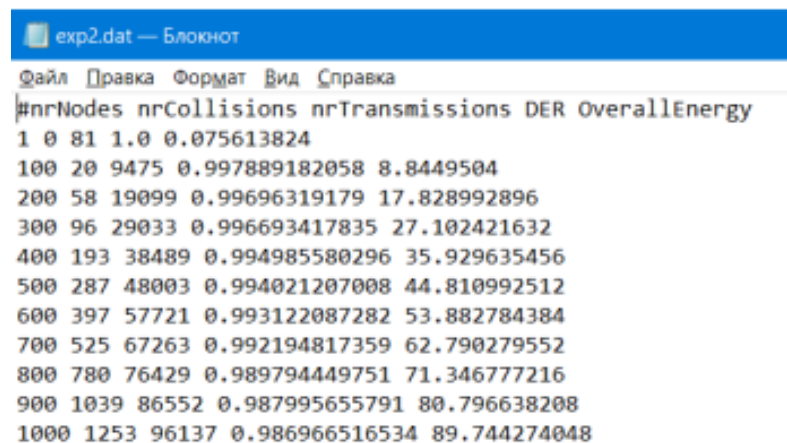
Рис. 3.3. Вхідні дані

На рис. 3.4 – 3.6 відображені результати різних конфігурацій мережі LoRa у випадку моніторингу. Файли з результатами містять інформацію про кількість КП, колізій, відправок, DER та витрачену на передачу енергії.



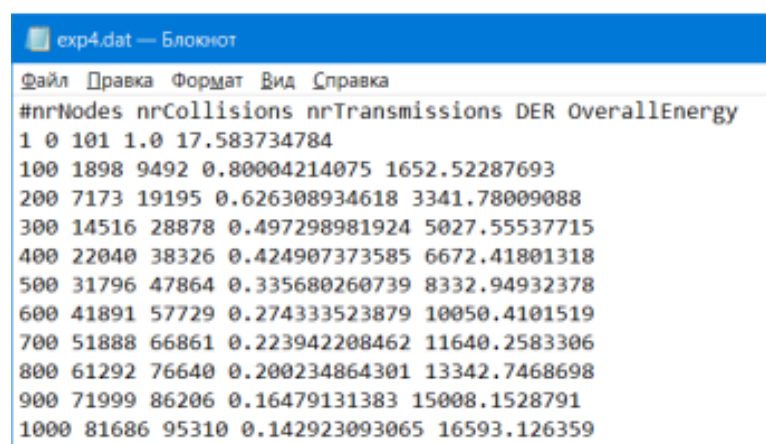
```
exp0.dat — Блокнот
Файл Правка Формат Вид Справка
#nrNodes nrCollisions nrTransmissions DER OverallEnergy
1 0 95 1.0 21.47008512
100 2616 9525 0.725354330709 2152.6585344
200 8691 18969 0.541831409141 4287.01099622
300 16831 28932 0.418222037882 6538.65792307
400 25329 38170 0.336363636364 8626.45420032
500 36168 47954 0.245777203153 10837.6469668
600 46880 57975 0.1913410953 13102.4019456
700 56450 67184 0.159770183377 15183.6441969
800 66941 76440 0.124254317111 17275.5084902
900 76688 86035 0.108595339106 19443.9870874
1000 87455 96082 0.0897670739577 21714.6180895
```

Рис. 3.4. Результат експерименту мережі з конфігурацією №1



```
exp2.dat — Блокнот
Файл Правка Формат Вид Справка
#nrNodes nrCollisions nrTransmissions DER OverallEnergy
1 0 81 1.0 0.075613824
100 20 9475 0.997889182058 8.8449504
200 58 19099 0.99696319179 17.828992896
300 96 29033 0.996693417835 27.102421632
400 193 38489 0.994985580296 35.929635456
500 287 48003 0.994021207008 44.810992512
600 397 57721 0.993122087282 53.882784384
700 525 67263 0.992194817359 62.790279552
800 780 76429 0.989794449751 71.346777216
900 1039 86552 0.987995655791 80.796638208
1000 1253 96137 0.986966516534 89.744274048
```

Рис. 3.5. Результат експерименту мережі з конфігурацією №2



```
exp4.dat — Блокнот
Файл Правка Формат Вид Справка
#nrNodes nrCollisions nrTransmissions DER OverallEnergy
1 0 101 1.0 17.583734784
100 1898 9492 0.80004214075 1652.52287693
200 7173 19195 0.626308934618 3341.78009088
300 14516 28878 0.497298981924 5027.55537715
400 22040 38326 0.424907373585 6672.41801318
500 31796 47864 0.335680260739 8332.94932378
600 41891 57729 0.274333523879 10050.4101519
700 51888 66861 0.223942208462 11640.2583306
800 61292 76640 0.200234864301 13342.7468698
900 71999 86206 0.16479131383 15008.1528791
1000 81686 95310 0.142923093065 16593.126359
```

Рис. 3.6. Результат експерименту мережі з конфігурацією №3

На рис. 3.7, 3.8 наведено візуальне узагальнення експерименту всіх трьох конфігурацій мережі, побудоване в gnuplot [29], саме залежність DER і енергоспоживання від кількості КП. Кожному маркеру відповідає результат симуляції. Відношення кількості коректно прийнятих повідомлень до кількості надісланих повідомлень для кожної конфігурації є різним.

Із рис. 3.6 видно, що співвідношення між прийнятими та надісланими повідомленнями DER зменшується за експонентом зі збільшенням кількості КП за низьких швидкостях передачі (конфігурації №1 і 3). Мережа з конфігурацією №2 має хороші показники роботи: DER більше 0,9 за різних значень кількості КП N.

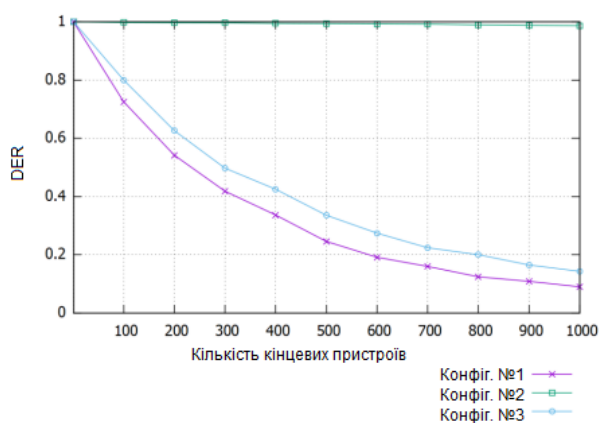


Рис. 3.7. Залежність DER від кількості КП

З точки зору енергоефективності, мережа зі конфігурацією №2 - найкращий варіант (рис. 3.7).

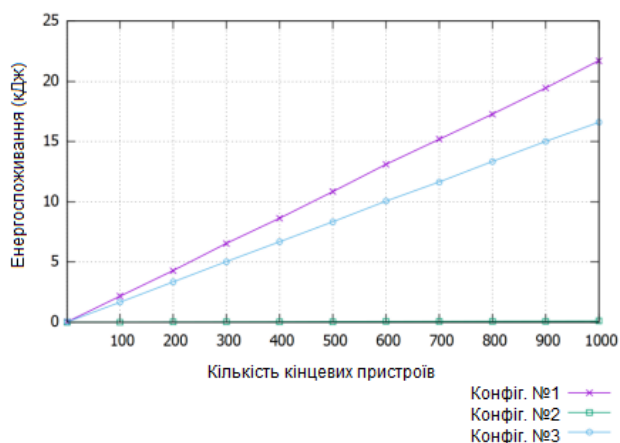


Рис. 3.8. Залежність енергоспоживання від кількості КП

Така мережа споживає невелику кількість енергії незалежно від кількості КП, тоді як і конфігураціях №1 і №3 спостерігається зростання енергоспоживання зі збільшенням N.

Таким чином, можна зробити висновок, що у випадку моніторингу, де енергоспоживання мережі та співвідношення DER є критичними факторами, конфігурація №2 - ідеальне рішення. Однак слід мати на увазі, що в мережах LPWAN топологія може мати як позитивний, так і негативний вплив на споживання енергії кожного КП. Використання топології «зірка» допомагає підвищити енергетичну ефективність. Крім того, передача обчислювальних функцій серверам може надалі знизити енергоспоживання.

3.3. Експеримент №2. Вплив відстані між базовими станціями

У другому експерименті було проведено ряд симуляцій із двома БС. Як і в попередньому експерименті, ми порівнюватимемо результати для трьох конфігурацій. Для всіх симуляцій ми так само використовуватимемо пакети розміром 20 байт, які відправляються кожні 15 хвилин. Крім того, ми встановлюємо, що кількість КП на одну БС фіксована ($N = 500$), а змінюватиметься відстань, в межах якої КП довільно розкидані навколо двох БС. Тривалість симуляції – один день. Мережа для експерименту №2 наведено на рис. 3.9.

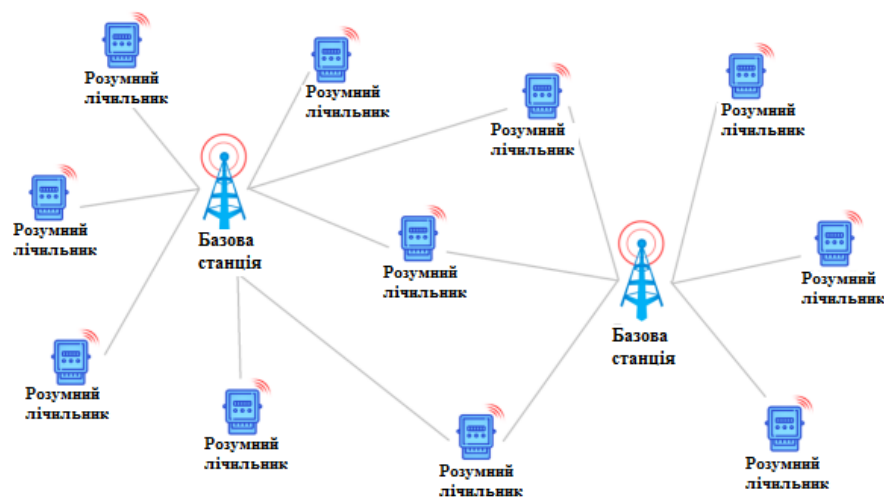
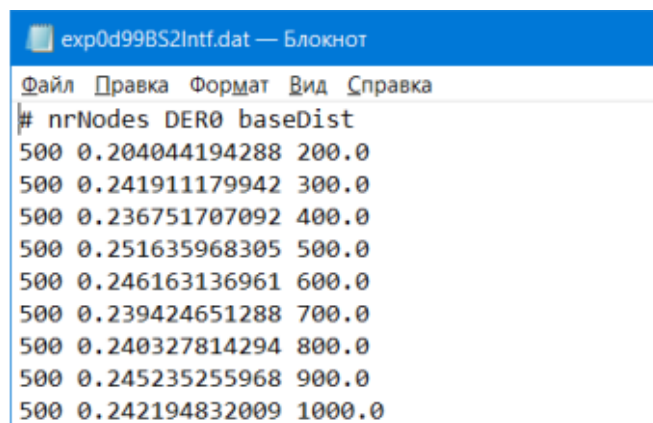


Рис. 3.9. Мережа для експерименту №2

Результати показані на рис. 3.10 – 3.13.

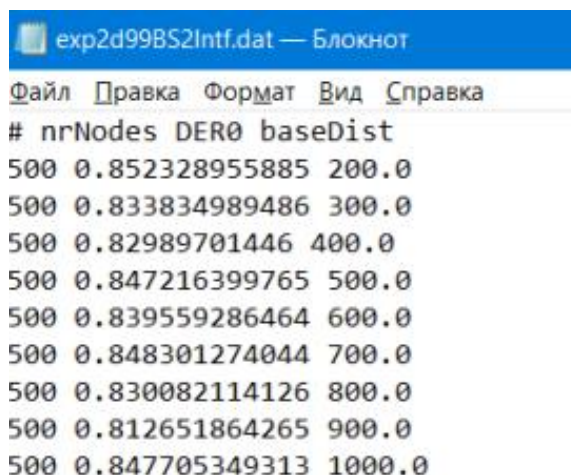
В результаті симуляції було отримано, що, незважаючи на зміну відстані між двома БС до 1000 м, параметр DER мережі з конфігурацією №2 виявився більше 0,8. Це є прийнятним значенням для таких випадків застосування. З конфігураціями №1 та №3 (125 КГц / SF12 / CR4/8 та 125 КГц / SF12 / CR4/5 відповідно) ми досягли $0,20 < DER < 0,33$, що є слабким показником для застосування в мережах Smart Grid.

Коли йдеться про охоплення та покриття в бездротових мережах, найважливішим моментом є енергетичний баланс лінії. У ході проектування бездротової прикладної системи енергетичний баланс лінії береться до уваги, для того щоб встановити відповідні параметри для передачі: коефіцієнт підсилення антени, рівень потужності радіопередавача та чутливість приймача [24].



```
exp0d99BS2Intf.dat — Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
# nrNodes DER0 baseDist
500 0.204044194288 200.0
500 0.241911179942 300.0
500 0.236751707092 400.0
500 0.251635968305 500.0
500 0.246163136961 600.0
500 0.239424651288 700.0
500 0.240327814294 800.0
500 0.245235255968 900.0
500 0.242194832009 1000.0
```

Рис. 3.10. Результат експерименту для мережі із конфігурацією №1



```
exp2d99BS2Intf.dat — Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
# nrNodes DER0 baseDist
500 0.852328955885 200.0
500 0.833834989486 300.0
500 0.82989701446 400.0
500 0.847216399765 500.0
500 0.839559286464 600.0
500 0.848301274044 700.0
500 0.830082114126 800.0
500 0.812651864265 900.0
500 0.847705349313 1000.0
```

Рис. 3.11. Результат експерименту для мережі із конфігурацією №2

exp4d99BS2Intf.dat — Блокнот			
Файл	Правка	Формат	Вид Справка
#	nrNodes	DER0	baseDist
500	0.288340890739	200.0	
500	0.335261926644	300.0	
500	0.330876857926	400.0	
500	0.334259626836	500.0	
500	0.336183110368	600.0	
500	0.334529671981	700.0	
500	0.335483468237	800.0	
500	0.326773474623	900.0	
500	0.331944962493	1000.0	

Рис. 3.12. Результат експерименту для мережі із конфігурацією №3

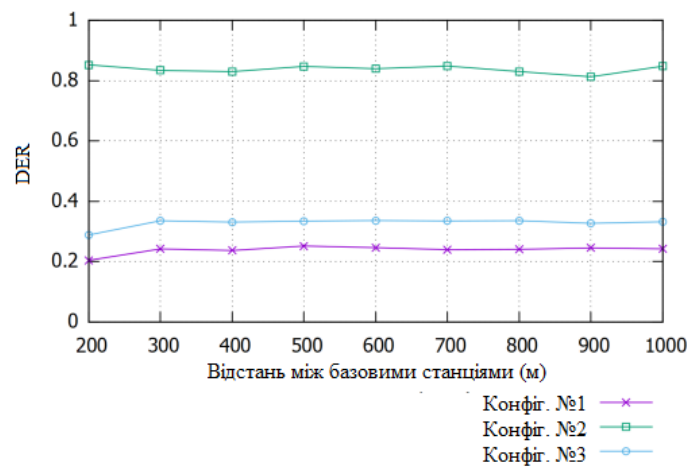


Рис. 3.13. Залежність DER від відстані між БС за N = 500

3.4. Експеримент №3. Вплив спрямованих антен

У третьому експерименті ми спостерігатимемо вплив спрямованих антен на ефективність мережі LoRa. У цій частині експерименту ми будемо так само використовувати конфігурації №1, 2 і 3. Мережа, що розглядається, аналогічна попередньому експерименту.

Згідно з джерелом [27], в результаті польових випробувань LoRa було встановлено, що фактичний радіус дії шлюзу склав 2,5 км для міста та 2 км для мегаполісу. Грунтуючись на узагальненому досвіді цих випробувань, відстань між БС приймемо рівним 4 км. Між БС до 1000 КП розкидані випадково. Тривалість симуляції – 24 години. У більшості випадків спрямовані антени можуть збільшити

коефіцієнт посилення сигналу та зменшити інтерференцію. Отже, робота мережі повинна покращитись, зокрема, показник DER.

На рисунках 3.14 – 3.17 показані результати експерименту.

 exp0d99BS2Intf.dat — Блокнот
Файл Правка Формат Вид Справка
nrNodes DER0 baseDist
200 0.55640905053 4000.0
300 0.418737846915 4000.0
400 0.336999111854 4000.0
500 0.25025025025 4000.0
600 0.177962715221 4000.0
700 0.15484695796 4000.0
800 0.130622071838 4000.0
900 0.104045102839 4000.0
1000 0.0899714127145 4000.0

Рис. 3.14. Результат експерименту для мережі із конфігурацією №1

 exp2d99BS2Intf.dat — Блокнот
Файл Правка Формат Вид Справка
nrNodes DER0 baseDist
200 0.869499792445 4000.0
300 0.839497220208 4000.0
400 0.846310140926 4000.0
500 0.842371896022 4000.0
600 0.806613761168 4000.0
700 0.82367986676 4000.0
800 0.861447752023 4000.0
900 0.827567836752 4000.0
1000 0.835001715159 4000.0

Рис. 3.15. Результат експерименту для мережі із конфігурацією №2

 exp4d99BS2Intf.dat — Блокнот
Файл Правка Формат Вид Справка
nrNodes DER0 baseDist
200 0.653082549634 4000.0
300 0.505662751678 4000.0
400 0.407849122989 4000.0
500 0.32811626607 4000.0
600 0.280428636253 4000.0
700 0.241573117685 4000.0
800 0.20256343186 4000.0
900 0.158556544189 4000.0
1000 0.138728263366 4000.0

Рис. 3.16. Результат експерименту для мережі із конфігурацією №3

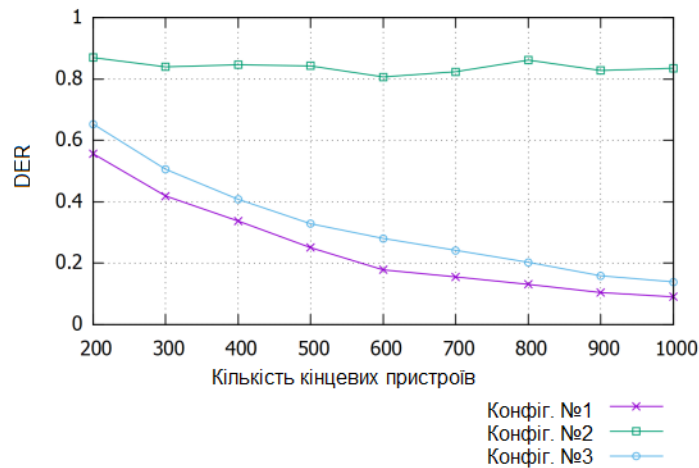


Рис. 3.17. Залежність DER від кількості КП із спрямованими антенами

Як і очікувалося, незважаючи на те, що кількість КП і радіус збільшилися, спрямовані антени покращили показник DER, зокрема, з конфігураціями №1 і 3 (0,089 DER з конфіг. №1 $\leq$ 0,556 і 0,138 DER з конфіг. №3 $\leq$ 0,653, відповідно) Таким чином, використання спрямованих антен надає позитивного впливу на роботу мережі.

3.5. Висновок до розділу

У цьому розділі було виконано три експерименти, котрі показують основні моменти використання технології LoRa у мережах Smart Grid: моніторинг і ICOE. Було дано оцінку DER та енергоспоживання мереж як характеристик роботи щодо різних конфігурацій, з метою визначення сильних та слабких сторін технології LoRa у визначених кейсах використання.

Експериментально доведено, що ефективність функціонування Smart Grid мережі вдасться підвищити, застосовуючи КП із напрямленими антенами.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Охорона праці

Метою кваліфікаційної роботи магістра є вивчення різноманітних аспектів застосування технології LoRa в IEM Smart Grid. Оскільки, проведення такого виду робіт передбачає застосування комп'ютерної техніки, зокрема ПК та периферійних пристроїв, то обов'язковим є дотримання вимог з охорони праці і техніки безпеки.

Для ефективної і безпечної роботи працівників для вивчення різноманітних аспектів застосування технології LoRa в IEM Smart Grid, необхідно організувати безпечні умови праці. При цьому керівник організації несе безпосередню відповідальність за порушення нормативно-правових актів з охорони праці [30]. Окрім цього, на робочих місцях працівників необхідно забезпечити дотримання вимог, затверджених Наказом Мінсоцполітики від 14.02.2018 за № 207 «Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями». Згідно Вимог приміщення, де розміщені робочі місця операторів, крім приміщень, у яких розміщені робочі місця операторів великих ЕОМ загального призначення (сервер), мають бути оснащені системою автоматичної пожежної сигналізації відповідно до цих вимог;

– переліку однотипних за призначенням об'єктів, які підлягають обладнанню автоматичними установками пожежогасіння та пожежної сигналізації, затвердженого наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 22.08.2005 N 161, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 05.09.2005 за N 990/11270 (НАПБ Б.06.004-2005);

– Державних будівельних норм "Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд", затверджених наказом Держбуду України від 28.10.98 N 247 (далі - ДБН В.2.5-56:2014, з димовими пожежними сповіщувачами та переносними вуглекислотними вогнегасниками.

В інших приміщеннях допускається встановлювати теплові пожежні сповіщувачі. Приміщення, де розміщені робочі місця операторів, мають бути оснащені вогнегасниками, кількість яких визначається згідно з вимогами ДСТУ 4297:2004 «Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників». Загальні технічні вимоги і з урахуванням граничнодопустимих концентрацій вогнегасної рідини відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014. Приміщення, в яких розміщуються робочі місця операторів сервера загального призначення, обладнуються системою автоматичної пожежної сигналізації та засобами пожежогасіння відповідно до вимог ДБН В.2.5-56:2014, НАПБ А.01.001-2014 і вимог нормативно-технічної та експлуатаційної документації виробника. Проходи до засобів пожежогасіння мають бути вільними.

Лінія електромережі для живлення комп'ютера та периферійних пристроїв повинні бути виконаними як окрема групова трипровідна мережа шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів. Не допускається використовувати нульовий робочий провідник як нульовий захисний провідник. Нульовий захисний провідник прокладається від стійки групового розподільного щита, розподільного пункту до розеток електроживлення. Не допускається підключати на щиті до одного контактного затискача нульовий робочий та нульовий захисний провідники.

Площа перерізу нульового робочого та нульового захисного провідника в груповій трипровідній мережі має бути не менше площі перерізу фазового провідника. Усі провідники мають відповідати номінальним параметрам мережі та навантаження, умовам навколишнього середовища, умовам розподілу провідників, температурному режиму та типам апаратури захисту, вимогам НПАОП 40.1-1.01-97.

У приміщенні, де одночасно експлуатуються понад п'ять комп'ютерів, на помітному, доступному місці встановлюється аварійний резервний вимикач, який може повністю вимкнути електричне живлення приміщення, крім освітлення.

Комп'ютери повинні підключатися до електромережі тільки за допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення.

У штепсельних з'єднаннях та електророзетках, крім контактів фазового та нульового робочого провідників, мають бути спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Їхня конструкція має бути такою, щоб приєднання нульового захисного провідника відбувалося раніше, ніж приєднання фазового та нульового робочого провідників. Порядок роз'єднання при відключенні має бути зворотним. Не допускається підключати комп'ютери до звичайної двопровідної електромережі, в тому числі – з використанням перехідних пристроїв. Електромережі штепсельних з'єднань та електророзеток для живлення комп'ютерної техніки повинні бути виконаними за магістральною схемою, по 3-6 з'єднань або електророзеток в одному колі. Штепсельні з'єднання та електророзетки для напруги 12 В та 42 В за своєю конструкцією мають відрізнятися від штепсельних з'єднань для напруги 127 В та 220 В. Штепсельні з'єднання та електророзетки, розраховані на напругу 12 В та 42 В, мають візуально (за кольором) відрізнятися від кольору штепсельних з'єднань, розрахованих на напругу 127 В та 220 В.

При підвищенні ефективності контролю доступу в приміщення, де для забезпечення безпеки мешканців, співробітників і збереження майна використовуються ДС, важливим, з точки зору охорони праці, є забезпечення достатньої величини природного та штучного освітлення, які визначені у НПАОП 0.00-7.15-18. Організація робочого місця фахівця із дослідження методів та програмно-апаратних засобів оптимізаційних процесів на основі ГА повинна забезпечувати відповідність усіх елементів робочого місця та їх розташування ергономічним вимогам ДСТУ 8604:2015 «Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги». Відстань від екрана до ока фахівців, які працюють за комп'ютером визначається згідно з вимогами ДСанПіН 3.3.2.007-98.

Розміщення принтера або іншого пристрою введення-виведення інформації на робочому місці має забезпечувати добру видимість екрана комп'ютера,

зручність ручного керування пристроєм введення-виведення інформації в зоні досяжності моторного поля згідно з вимогами ДСанПіН 3.3.2.007-98.

Таким чином, у результаті аналізу вимог щодо охорони праці користувачів комп'ютерів, визначено особливості організації робочих місць, вимог з електробезпеки, природного та штучного освітлення для ефективної і безпечної роботи фахівців із вивчення різноманітних аспектів застосування технології LoRa в IEM Smart Grid.

4.2. Оцінка дії електромагнітного імпульсу на елементи комп'ютерної системи

У воєнний час при застосуванні ядерної зброї проти України на електронно-обчислювальне обладнання в першу чергу буде впливати електромагнітний імпульс (ЕМІ) ядерного вибуху у вигляді короткого імпульсу, який вражає головним чином електричну та електронну апаратуру [31].

ЕМІ виникають в основному в результаті взаємодії гамма-випромінювання з атомами навколишнього середовища. На утворення ЕМІ йде невелика кількість ядерної енергії, але він здатен викликати високі імпульси струмів та напруг в кабелях повітряних і підземних ліній зв'язку, сигналізації, управління, електропередачі, в антенах радіостанцій. Вплив ЕМІ може привести до згорання чутливих електронних та електричних елементів, зв'язаних з великими антенами чи відкритими дротами, а також до порушень в обчислювальних пристроях. Вплив ЕМІ необхідно враховувати для всіх електричних та електронних систем. Для найбільш важливих приладів треба використовувати засоби захисту і підвищувати їх стійкість до ЕМІ.

Особливістю ЕМІ, як вражаючого фактору є його здатність розповсюджуватись на десятки і сотні кілометрів в оточуючому середовищі. Тому ЕМІ може вплинути своєю дією на об'єкти, там де вибухова хвиля, світлове випромінювання, проникаюча радіація втрачають своє значення, як вражаючі фактори. При наземних та низьких повітряних вибухах в лініях зв'язку та

електрозабезпечення виникають напруги, які можуть викликати пробій ізоляції провідників та кабелів відносно землі, пробій ізоляції елементів приладів підключених до повітряних і підземних ліній. Степінь враження залежить від наведеного імпульсу напруги чи струму і також електричної міцності обладнання.

Найбільш піддані впливу ЕМІ системи зв'язку, сигналізації, управління. Використані в цих системах кабелі та апаратура мають обмежену електричну міцність не більше 10кВ імпульсної напруги, тоді як наведені імпульси напруги від ЕМІ можуть перевищувати ці значення. Найбільш піддана впливу ЕМІ апаратура виконана на напівпровідниках та інтегральних схемах, працюючих на малих струмах і напругах, і значить відчутних до впливу зовнішніх електричних і магнітних кіл, в тому числі і елементи програмного засобу для управління процесом міграції віртуальних машин в обчислювальній хмарі. ЕМІ пробиває ізоляцію, спалює елементи електричних схем радіоапаратури, викликає коротке замикання в радіопристроях, іонізацію діелектриків, змінює або повністю стирає магнітний запис. Встановлено, що при дії ЕМІ на апаратуру найбільша напруга наводиться на вході. В транзисторах відбувається така залежність: чим більший коефіцієнт підсилення транзистора, тим менша його електрична міцність.

ЕМІ пошкоджує також резистори, викликає іскріння в їх міжконтактних з'єднаннях і деяких областях провідної поверхні. Найбільшу небезпеку ЕМІ представляє для апаратури, яка встановлена в особливо міцних спорудах, які витримують великі тиски ударної хвилі. В цих спорудах апаратура не виходить з ладу від механічних пошкоджень, але ЕМІ може вивести з ладу всю незахищену апаратуру системи зв'язку, сигналізації і керування. Найбільших значень досягають напруги, які наводяться між кабелем і землею. Напруженість електромагнітного поля всередині споруди в деяких випадках недостатня для того, щоб вивести з ладу апаратуру, але такі поля в змозі викликати короточасний збій роботи радіотехнічних пристроїв.

Розглянемо можливі шляхи рішення задачі захисту від ЕМІ сервісу для адміністрування і обліку роботи автомобільної пар. Ідеальним захистом від ЕМІ виявилось б повне укриття приміщення, в якому розміщена радіоелектронна

апаратура, металевим екраном. Водночас зрозуміло, що практично забезпечити такий захист у ряді випадків неможливо, тому що для роботи апаратури часто потрібно забезпечити її електричний зв'язок із зовнішніми пристроями. Тому використовуються менш надійні засоби захисту, такі, як струмопровідні сітки, або плівкові покриття для вікон, щільникові металеві конструкції для повітрезабірників і вентиляційних отворів і контактні пружинні прокладки, розміщені по периметру дверей і люків.

Більш складною технічною проблемою рахується захист від проникнення ЕМІ в апаратуру через різноманітні кабельні входи. Радикальним рішенням даної проблеми міг би стати перехід від електричних мереж зв'язку до практично не схильних до впливу ЕМІ волоконно-оптичних. Проте заміна напівпровідникових приладів у всьому спектрі виконуваних ними функцій електронно-оптичними пристроями можлива тільки у віддаленому майбутньому. Тому в даний час в якості засобів захисту кабельних входів найбільші широко використовуються фільтри, у тому числі волоконні, а також іскрові розрядники, металлоокисні варистори та ін. [31].

Всі ці засоби мають як переваги, так і недоліки. Так, ємнісно-індуктивні фільтри достатньо ефективні для захисту від ЕМІ малої інтенсивності, волоконні фільтри захищають у відносно вузькому діапазоні надвисоких частот. Іскрові розрядники мають значну інерційність й в основному придатні для захисту від перевантажень, що виникають під впливом напруг і струмів, що наводяться в обшивці літака, кожусі апаратури й оплетенні кабеля.

Металлоокисні варистори є напівпровідниковими приладами, що різко підвищують свою провідність при високій напрузі. Проте, при застосуванні цих приладів у якості засобів захисту від ЕМІ варто враховувати їх недостатньо високу швидкодію і погіршення характеристик при кількаразовому впливі навантажень. Ці недоліки відсутні у високошвидкісних зенеровських діодах, дія яких заснована на різкій лавиноподібній зміні опору від високого значення практично до нуля, при перевищенні прикладеної до них напруги граничного розміру. Крім того на

відміну від варисторів характеристики зенеровських діодів після багатократних впливів високих напруг і переключень режимів не погіршуються.

Найбільш раціональним підходом до проектування засобів захисту від ЕМІ кабельних входів є створення таких роз'ємів у конструкції яких передбачені спеціальні заходи, що забезпечують формування елементів фільтрів і установку вмонтованих зенеровських діодів. Подібне рішення сприяє одержанню дуже малих значень ємності й індуктивності, що необхідно для забезпечення захисту від імпульсів, що мають незначну тривалість і, отже, потужну високочастотну складову.

Складність рішення задачі захисту від ЕМІ і висока вартість розроблених для цих цілей засобів і методів змушують піти по шляху їхнього вибіркового застосування в особливо важливих системах зброї і військової техніки. Такий же шлях обраний і для захисту систем, що мають велику протяжність, керування і зв'язку. Проте основним методом рішення даної проблеми спеціалісти вважають створення так званих розподілених мереж зв'язку.

4.3. Висновки до розділу

В цьому розділі проаналізовано важливі питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, проведено оцінку дії на елементи комп'ютерної системи.

ВИСНОВКИ

У цій роботі було вивчено різні аспекти застосування технології LoRa в ІЕМ Smart Grid. Аналіз показав, що LoRa, завдяки своїм технічним характеристикам та перевагам на тлі альтернативних бездротових технологій, є оптимальним варіантом для застосування в Smart Grid, зокрема, в основних компонентах концепції: у системах обліку енергоспоживання та моніторингу, у тому числі у квазі-реальному масштабі часу.

У практичній частині було проведено 3 експерименти, що демонструють основні кейси застосування технології LoRa у мережах Smart Grid, а саме моніторинг та ICOE. Було проведено оцінку відношення кількості коректно прийнятих пакетів до кількості переданих пакетів (DER) та енергоспоживання мереж як показників роботи при різних конфігураціях, щоб визначити сильні та слабкі сторони технології LoRa у конкретних випадках застосування.

Використовуючи три різні конфігурації №1, 2 і 3, було встановлено, що при малих швидкостях передачі даних, а саме при великому коефіцієнті розширення спектра, що дорівнює 12, LoRa дуже чутлива до кількості КП і їхнє велике число може призвести до різкого зменшення параметра DER. Більш того, у двох сценаріях мережі LoRa з трьох, а саме при SF, що дорівнює 12, лінійно зростає енергоспоживання на передачу зі збільшенням кількості КП, а той час, як при SF = 7 енергоспоживання постійно та мінімально.

Крім згаданого вище, було проведено дослідження впливу радіусу охоплення та наявності спрямованих антен на роботу мережі LoRa. Мережа LoRa може підтримувати практично постійне значення DER, незважаючи на збільшення відстані між БС. Отримані результати свідчать, що використання спрямованих антен є оптимальним з практичної точки зору рішенням, якщо потрібно досягти високих показників DER.

Таким чином, у даній кваліфікаційній роботі було проведено оцінку ефективності роботи мережі LoRa з трьома різними конфігураціями, а саме залежність DER від відстані між БС, кількості КП та наявності спрямованих антен

в КП. LoRa не дуже чутлива до відстані між БС. Найважливішим фактором під час планування мережі є сильна залежність роботи мережі LoRa від кількості КП при невисоких швидкостях. Ефективність роботи ІЕМ можна підвищити, використовуючи КП із спрямованими антенами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Tur, Mehmet Rıda & Bayindir, R.. (2019). The Requirements of The Technique of Communication from Machine to Machine Applied in Smart Grids. URL: <https://www.researchgate.net/publication/338375848> (дата звернення:17.11.2024).
2. C.H. Lo and N. Ansari, “The Progressive Smart Grid System from Both Power and Communications Aspects”, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 14, No. 3, 2012.
3. Головецький Н.М. Управління пристроями в локальній M2M мережі // Інформаційні моделі, системи та технології: Праці XII наук.-техн. конф. (Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 18-19 грудня 2024 р.) с. 120.
4. Joannes I. Laveyne, Greet Van Eetvelde, Lieven Vandeveld. Application of LoRaWAN for Smart Metering: An Experimental Verification. International Journal of Contemporary ENERGY, Vol. 4, No. 1 (2018).
5. Головецький Н.М., Баран І.О. Огляд існуючих проектів LPWAN // XIII Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів «АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ» (Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 11-12 грудня 2024 р.) с. 477.
6. Davide Magrin, Martina Capuzzo, Andrea Zanella, A Thorough Study of LoRaWAN Performance Under Different Parameter Settings, 2019.
7. Niyato, D., Xiao, L., & Wang, P. (2011), “Machine-to-machine communications for home energy management system in smart grid”, Communications Magazine, IEEE, 49(4), 53-59.
8. Telecommunication management; Self-Organizing Networks (SON); Concepts and requirements 3GPP TS 32.500 URL: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2031> (дата звернення:18.11.2024).
9. Self-Organizing Network Market Report by Offering. URL: <https://www.imarcgroup.com/selforganizing-network-market> (дата звернення:18.11.2024).

10. 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..
11. Розбудова Smart Grid - шлях до підвищення стійкості енергосистеми України. URL: <https://hoe.com.ua/post/rozbudova-smart-grid-shljah-do-pidvischennja-stijkosti-energosistemi-ukrajini.html> (дата звернення:19.11.2024).
12. 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. ТНТУ. 2024. 44 с.
13. 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.
14. LoRa технологія. URL: <https://itmaster.biz.ua/directory/standarts/lora.html> (дата звернення:22.11.2024).
15. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі. Книга 1 [навчальний посібник]. Львів : «Магнолія 2006», 2013. 256 с..
16. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник]. Львів : "Магнолія 2006", 2014. 312 с..
17. Velychko D., Osukhivska H., Palaniza Y., Lutsyk N., Sobaszek L. Artificial Intelligence Based Emergency Identification Computer System. Advances in Science and Technology Research Journal, 18 no. 2, 2024, P. 296-304

18. Аналіз можливостей інформаційних технологій з використанням міжмашинного зв'язку «M2M» для інтернету речей. URL: <https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/50163/> (дата звернення:22.11.2024).
19. Skorenkyu Y., Kozak R., Zagorodna N., Kramar O., Baran, I. Use of augmented reality-enabled prototyping of cyber-physical systems for improving cybersecurity education. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1840, No. 1. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1840/1/012026>
20. Palamar A., Palamar M., Osukhivska H. Real-time Health Monitoring Computer System Based on Internet of Medical Things. *CEUR Workshop Proceedings, 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2023)*, Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, November 22–24, 2023. Vol. 3628. P. 106-115.
21. 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.
22. Що таке ZigBee в IoT? Повний путівник у 2024 році. URL: <https://www.dusuniot.com/uk/blog/the-definitive-guide-for-zigbee-gateway-for-solution-vendors/> (дата звернення:26.11.2024).
23. David Boswarthick, Omar Elloumi, Olivier Hersent, *M2M Communications: A Systems Approach* // John Wiley & Sons, 2012, 336 p.
24. Mahmoud Abbasi, Mohammah-H Yaghmaee, *Low-Power Wide Area Network (LPWAN) for Smart grid: An in-depth study on LoRaWAN*. *IEEE 5th International Conference on Knowledge-Based Engineering and Innovation (KBEI)*, 2019.
25. Christos Bouras, Apostolos Gkamas, Spyridon Aniceto Katsampiris Salgado, Vasileios Kokkinos 26 [LoRaWAN™ 1.0.2 Regional Parameters] *LoRaWAN™ 1.0.2 Regional Parameters*, LoRa Alliance, Inc., 2017.
26. Огляд технології LoRaWAN. URL: <https://www.atiko.com.ua/articles-ua/obzor-tekhnologii-lorawan-ua/> (дата звернення:28.11.2024).

27. LoRaWAN® transforms businesses by connecting wireless IoT sensors simply and affordably. URL: <http://lora-alliance.org/> (дата звернення: 28.11.2024).
28. Eduardo Sallum, Nuno Pereira, Mário Alves and Max Santos, Improving Quality-Of-Service in LoRa Low-Power Wide-Area Networks through Optimized Radio Resource Management. Journal of Sensor and Actuator Networks, 8 February 2020.
29. LoRaSim. URL: <http://www.lancaster.ac.uk/scc/sites/lora/lorasim.html/> (дата звернення: 28.11.2024).
30. Заїкіна Д., Глива В. Основи охорони праці та безпека життєдіяльності. 2019. URL: <https://doi.org/10.31435/rsglobal/001> (дата звернення: 14.12.2024).
31. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.

ДОДАТОК А
Тези конференції

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)
Університет імені П'єра і Марії Кюрі (Франція)
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет у Кошице (Словаччина)
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)
Наукове товариство ім. Т.Шевченка

АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Збірник
тез доповідей

**XIII Міжнародної науково-практичної
конференції молодих учених та студентів**
11-12 грудня 2024 року



**УКРАЇНА
ТЕРНОПІЛЬ – 2024**

45. М.В. Дрогобицький, А.І. Фіалка, Н.С. Лушк	466
АНАЛІЗ МЕТОДІВ ІНТЕГРАЦІЇ MICROGRID ДЛЯ ДИНАМІЧНОГО БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ЗАГАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ	
46. М.В. Королевич; А.М. Галабійцький; С.Т. Гавриш	467
ДОСЛІДЖЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ КОНДУКТОМЕТРИЧНОГО ДАВАЧА	
47. М.Г. Білик, І.Г. Білик, І.В. Чисіра	469
РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЛІНІЇ ПОДАЧІ МЕТАЛЕВОГО ПРОФІЛЮ НА БАЗІ КОНТРОЛЕРА ФІРМИ SIEMENS	
48. М.І. Богунський	470
ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ ПОШУКУ ІНФОРМАЦІЇ НА ВЕБ-САЙТІ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ	
49. М.О. Скоробогата, Л.П. Дмитроца	472
ВПЛИВ ГЕНЕРАТИВНОГО ШІ НА МАРКЕТИНГОВІ КОМУНІКАЦІЇ КОМПАНІЇ "TECHNOVAAPP"	
50. Микитишин А.Г., к.т.н., доц., Чурсеня Б.В., Дильоний О.О.	474
ПРОМИСЛОВІ СИСТЕМИ ЕНЕРГОМОНІТОРИНГУ НА ОСНОВІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ	
51. Н. М. Головицький, І.О. Баран,	477
ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ПРОЕКТІВ LPWAN	
52. Н. Сороківська, В.Яцишин	478
КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ БІОРИЗНОМАНІТТА З ВБУДОВАНИМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИМИ СЕРВІСАМИ	
53. Н.М. Топольницький, Р.М. Небесний	479
ЗАСТОСУВАННЯ GEOMETRY NODES В ПРОГРАМНОМУ ПАКЕТІ BLENDER ДЛЯ ЗАДАЧ ПРОЦЕДУРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	
54. Н.М. Топольницький, Р.М. Небесний	480
ЗАСТОСУВАННЯ GEOMETRY NODES В ПРОГРАМНОМУ ПАКЕТІ BLENDER ДЛЯ ЗАДАЧ ПРОЦЕДУРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	
55. О.А. Заяць	471
МЕТОДИ ТА ІНСТРУМЕНТИ АНАЛІЗУ І КЛАСИФІКАЦІЇ ВИМОГ ДО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	
56. О.А. Саган, К.Б. Шварло	482
АНАЛІЗ SQL-ІН'ЄКЦІЙ: ТИПИ АТАК ТА МЕТОДИ ЗАХИСТУ	
57. О.В. Сьоміш; А.Г. Микитишин к.т.н.; І.В. Булич	456
ОПТИМІЗАЦІЯ ВКЛЮЧЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ РЕЗЕРВНОМУ ЖИВЛЕННІ НА МАЛОМУ ВИРОБНИЧОМУ ПІДПРИЄМСТВІ ТА ЙОГО ІНТЕГРАЦІЯ З ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ	
58. О.В. Шкварок; А.О. Курило; І.Р. Козбур; Ю.Б. Капачіла	483
РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РОЗУМНОГО БУДИНКУ НА БАЗІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ТА БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ	
59. О.Д. Пакон, Р.М. Небесний	485
АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ MDM СИСТЕМ ДЛЯ КОРПОРАТИВНОГО СЕРЕДОВИЩА	
60. О.Д. Пакон, Р.М. Небесний	487
ОСНОВНІ ВИКЛИКИ ДЛЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ МОБІЛЬНИМИ ПРИСТРОЯМИ	

УДК 004.738

Н. М. Головецький, І.О. Баран, к.т.н., доц.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ПРОЕКТІВ LPWAN

N.M.Holovetskyi, I.O.Baran, PhD.

SURVEY OF EXISTING LPWAN PROJECTS

LPWAN (Low-power Wide-area Network) – енергоефективна мережа дальнього радіуса дії, це бездротова технологія передачі невеликих за обсягом даних на далекі відстані [1]. За останні кілька років у світ вийшла низка LPWAN-технологій, що використовують новаторські види радіочастотної модуляції та/або займають ті частини радіочастотного спектру, які тільки недавно почали призначатися для передачі даних. Розглянемо технології, які вже перебувають на етапі комерційного використання. Зрозуміло, це далеко не вичерпний список усіх технологій LPWAN.

Ingenu – це запатентована LPWAN -технологія, розроблена однойменною компанією, відомою в минулому як On-Ramp Wireless, і заснована на множинному доступі з випадковою фазою RPMA (Random Phase Multiple Access) - широкосмугової модуляції з прямим розширенням спектра та множинним доступом. Технологія використовує спектр частот, що не ліцензується, 2,4 ГГц, який відомий також як смуга іншого відомого користувача - Wi-Fi. Завдяки високій частоті Ingenu може забезпечувати досить високу швидкість передачі даних, аж до 624 Кбіт/с, проте радіус охоплення досить обмежений і споживання енергії дещо вище. Технологія забезпечує передачу повідомлень "вгору" та "вниз". Вона користується деякою популярністю у США та різних частинах Європи. Власником та оператором мережі є Ingenu.

Аналогічна бізнес-стратегія була прийнята компанією SigFox та її схожою однойменною технологією LPWAN. SigFox використовує запатентоване ультранизькосмугове рішення, засноване на випадковій частоті та множинному доступі з поділом за часом і працює в неліцензійній смузі частот. Через те, що ширина смуги пропускання обмежена до 100 Гц, швидкість передачі даних досягає лише 100 біт/с, а кінцеві пристрої можуть в день передавати тільки 140 повідомлень "вгору", по 12 байт кожне, і приймати 4 повідомлення "вниз" з 8 байт. Технологія використовується переважно у країнах Європи.

Semtech застосовує інший підхід до технології LoRaWAN. LoRaWAN - це мережевий протокол, надбудова методу модуляції LoRa [1]. Ця модуляція використовує розширення спектру методом ЛЧМ, завдяки чому досягається стійкість до інтерференції, багатопроменевого поширення та доплерівського ефекту. Як і SigFox, Semtech працює в спектрі частот, що не ліцензується, і виділяє як мінімум 3 канали з мінімальною шириною смуги пропускання 125 КГц кожен. У зв'язку з цим досягається швидкість передачі до 27 Кбіт/с і максимальна довжина повідомлення 222 байта як у напрямку "вгору", так і в напрямку "вниз". На відміну від перших компаній, Semtech забезпечує лише радіочастотне обладнання та дає клієнтам самим встановлювати та експлуатувати свою власну мережу LPWAN.

Література

1. Що таке технологія LPWAN і чим вона відрізняється від LoRaWAN URL: <https://www.dusuniot.com/uk/blog/what-is-lpwan-technology/> (дата звертання: 08.11.24).

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ІВАНА ПУЛЮЯ
НАУКОВЕ ТОВАРИСТВО ім. ШЕВЧЕНКА**

МАТЕРІАЛИ

ХІІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

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



18-19 грудня 2024 року

**ТЕРНОПІЛЬ
2024**

В. Бразніков, Г. Осухівська ВПЛИВ ПЕРСОНАЛІЗАЦІЇ КЛІЄНТСЬКИХ ВЗАЄМОВІДНОСИН НА ЕФЕКТИВНІСТЬ CRM-СИСТЕМ У ЛОГІСТИЦІ V. Brazhnikov, H. Osukhivska THE IMPACT OF CUSTOMER RELATIONSHIP PERSONALIZATION ON THE EFFICIENCY OF CRM SYSTEMS IN LOGISTICS	114
А. М. Паламар, Р. О. Жаровський, Ю. С. Гарбів СИСТЕМА МОНИТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ ЗА ДОПОМОГОЮ IOT-ТЕХНОЛОГІЙ A. M. Palamar, R. O. Zharevskiy, Y. S. Harbich SYSTEM FOR MONITORING ATMOSPHERIC PRESSURE USING IOT TECHNOLOGIES	115
С. Вінтонів, Є. Тун ОПТИМІЗАЦІЯ КІЛЬКОСТІ ЗАПИТІВ ДО БАЗИ ДАНИХ ДЛЯ GRAPHQL-API З ВИКОРИСТАННЯМ DATALOADER S. Vintoniv, Ia. Tysh OPTIMIZING THE NUMBER OF DATABASE QUERIES FOR GRAPHQL-API USING DATALOADER	116
А. М. Паламар, Ю. С. Гарбів КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ IOT-МОНИТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ A. M. Palamar, Y. S. Harbich COMPUTERIZED SYSTEM FOR IOT MONITORING OF ATMOSPHERIC PRESSURE	117
Н. О. Гладовський ПРОГРАМНІ РІШЕННЯ МОНИТОРИНГУ СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ N. M. Holovetskyi SYSTEM AND NETWORK MONITORING SOFTWARE SOLUTIONS	118
Н. О. Гладовський ВИЯВЛЕННЯ НЕСПРАВНИХ ПАРАМЕТРІВ У ХОДІ МОНИТОРИНГУ МЕРЕЖІ N. M. Holovetskyi DETECTION OF FAULTY PARAMETERS DURING NETWORK MONITORING	119
Н. М. Головечак УПРАВЛІННЯ ПРИСТРОЯМИ В ЛОКАЛЬНІЙ M2M МЕРЕЖІ N. M. Holovetskyi DEVICE MANAGEMENT IN A LOCAL M2M NETWORK	120
Л. П. Дмитроца, О. Т. Старуцький ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА SEO ПРИ МАСШТАБУВАННІ ПРОЄКТІВ НА ОСНОВІ REACT І NEXT.JS L. P. Dmytrotsa, O. T. Starytskyi OPTIMIZING PERFORMANCE AND SEO WHEN SCALING PROJECTS BASED ON REACT AND NEXT.JS	121
М. В. Дрогобыцький, А. І. Фіалка, Н. С. Луцьк МЕТОДИ ВИКОРИСТАННЯ МЕРЕЖ MICROGRID ДЛЯ ДИНАМІЧНОГО БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ЗАГАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ M. V. Drohobytzkyi, A. I. Fialka, N. S. Lutsyk METHODS OF USING MICROGRID NETWORKS FOR DYNAMIC LOAD BALANCING OF GENERAL ELECTRICAL GRIDS	123
Р. О. Жаровський, В. А. Іванюцький GSM-СИГНАЛІЗАЦІЯ ЯК СПОСІБ РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ РОЗУМНИХ БУДИНКІВ ТА ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ НЕРУХОМОСТІ R. O. Zharevskiy, V. A. Ivanutskyi GSM-ALARM AS A WAY OF SMART HOUSE FUNCTIONALITY EXTENDING AND PROPERTY'S SAFETY INCREASING	124

УПРАВЛІННЯ ПРИСТРОЯМИ В ЛОКАЛЬНІЙ M2M МЕРЕЖІ

N.M.Holovetskyi

DEVICE MANAGEMENT IN A LOCAL M2M NETWORK

У локальній бездротовій мережі M2M (machine-to-machine) поєднуються всі домашні електричні прилади та системи на базі мережі радіодоступу Wi-Fi. За допомогою програми M2M, що здійснює моніторинг та керування домашньою електромережею, забезпечується взаємодія всіх елементів. Для домашніх електроприладів можна організувати вихід на зв'язок із зовнішніми програмами M2M за допомогою маршрутизатора Wi-Fi, який в даному випадку стає аналогом шлюзу M2M.

До переваг застосування мереж радіодоступу Wi-Fi, в плані об'єднання домашніх електричних приладів, можна віднести широку поширеність технології, просте і швидке її розгортання і використання на безоплатній основі без необхідності ліцензування, на відміну від мереж радіодоступу операторів мобільного зв'язку.

У розподільних електричних мережах пристрої M2M потрібні, для того щоб збирати дані з "розумних" лічильників і відправляти отриману інформацію в спеціалізований центр обробки даних, який, у разі необхідності, може відправити команду у відповідь на цей "розумний" лічильник. Налаштований обмін даними в розподільних електромережах відкриває безліч нових можливостей у вимірюваннях споживання енергії, управлінні навантаженням та вимірюванні в режимі реального часу таких енергетичних характеристик, як напруга, сила струму, потужність та частота, тим самим перевіряючи якість та безперервність електроживлення. Для організації взаємодії між пристроями та програмами M2M у розподільній мережі також можна використовувати мобільні мережі доступу 3GPP та M-3GPP.

Як приклад, збирання необхідної інформації можна реалізувати за допомогою M2M-пристрою, який запрограмовано відправляти на сервер M2M дані своїх вимірювань в інтервалом, заданим мережею Smart Grid на основі мережі доступу GSM. Зроблені виміри можна надсилати за допомогою SMS -повідомлень або через канал GPRS за протоколом TCP/IP. Вибір каналу надсилання звітності часто робиться, спираючись на вимоги постачальника програм M2M, а також виходячи з обмежень, пов'язаних із мережею радіодоступу, розгорнутою в зоні дії мережі Smart Grid. У системах генерації та передачі електроенергії на пристрої M2M покладаються керування та контроль за рядом електричних пристроїв та систем: перемикачі з віддаленим керуванням, індикатори несправностей, захисні реле, системи автоматизації електричних підстанцій, відновлювані джерела енергії та ін.

Якщо виник розрив, пристрій керування електричною підстанцією за допомогою технології Circuit Switched Data (CSD) передає на пристрій M2M керування вітряною турбіною сигнал про відключення через мобільну мережу 3GPP. Отримавши цей сигнал, пристрій керування вітряною турбіною відключає подачу електроенергії, потім надсилає зворотний підтверджуючий сигнал на пристрій керування електричною підстанцією. У порівнянні з каналом GPRS, основний плюс застосування для передачі команд управління CSD -каналу полягає у першочерговому виділенні ресурсів мережі. Крім цього, CSD -канал має гарантований стандарт і оператор смуги пропускання 9,6 Kbit/s (у випадку HSCSD - 57,6 Kbit/s), а також йому властиві стабільність і стійкість, а комутація каналу проводиться за телефонним номером.

ДОДАТОК Б

Фрагмент початкового коду скрипта loraDir.py

```
import simpy
import random
import numpy as np
import ir.ath import sys
import matplotlib.pyplot as plt
import os

# turn on/off graphics
graphics = 0

# do the full collision check
full_collision = False
# experiments:
# 0: packet with longest airtime, aloha-style experiment #
0: one with 3 frequencies,      1 with 1 frequency
# 2: with shortest packets, still aloha-style
# 3: with shortest possible packets, depending on distance

# this is an array with measured values for sensitivity
# see paper, Table 3
sf7 = np.array ([ 7,- 126.5 ,- 124.125 ,- 120.75])
sf8 = np. array([8,-127.25,-126.75,-124.0])
sf9 = np.array([9,-131.25,-128.25,-127.5])
sf10 = np.array([10, -132.75,-130,25,-128,75])
sf11 = np. array ( 11. -134.5,-132.75,-120.75])
sf 12 = np.array1[12,-133.25,-132.25,-132.251)

#
# check for collisions at base station
# Note: called before a packet [ro rather node) is inserted in
the list def checkcollision (packet );
    col = 0 # flag needed since there might be several
collisions for packet
    processing = 0
    for i in range ( 0, len (packetsAtBS)) :
    if packetsAtBS[i].packet.processed == 1;
        processing = processing + 1
    if (processing > maxBSReceives) :
```