

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

факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: «Розробка та дослідження автоматизованої системи управління
розумним будинком на базі бездротових мереж (комплексна тема)»

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи КАМ-61
спеціальності 151 «Автоматизація
та комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Шкварок О.В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Курило А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Коноваленко І.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Козбур В.Р.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Савків В.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Станько А.А.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі досліджуються сучасні рішення та технології у сфері автоматизації домашніх систем, зокрема в контексті концепції "Розумний дім". Робота поділена на кілька ключових частин: аналітичну, науково-дослідну, технологічну, проектну та спеціальну.

У першій частині виконано огляд існуючих платформ та рішень, таких як Home Assistant, Amazon Alexa, Ecobee та Apple HomeKit, що ілюструє розвиток технологій розумного дому. У другій частині представлено моделювання управління пристроями на базі IoT за допомогою мереж Петрі, включаючи обґрунтування використання даних моделей та результати їхнього застосування.

Третя частина охоплює технології зв'язку, які використовуються в IoT, та приклади їхнього впровадження в різні галузі, такі як енергетика, містобудування, сільське господарство та інші. Четверта частина фокусується на проектних рішеннях, включаючи бездротові мережеві протоколи та розробку автоматизованих систем управління.

Останні частини роботи присвячені безпеці на виробництві та в надзвичайних ситуаціях, що підкреслює важливість дотримання вимог охорони праці в контексті впровадження новітніх технологій.

Результати дослідження підтверджують значний потенціал технологій Smart Home у підвищенні комфорту, безпеки та ефективності управління ресурсами в побуті сучасної людини. Робота надає рекомендації щодо подальших напрямків досліджень і вдосконалення існуючих рішень.

ABSTRACT

This qualification work explores modern solutions and technologies in the field of home automation, particularly within the concept of "Smart Home." The work is divided into several key parts: analytical, research, technological, project, and special sections.

The first part provides an overview of existing platforms and solutions, such as Home Assistant, Amazon Alexa, Ecobee, and Apple HomeKit, illustrating the development of Smart Home technologies. The second part presents a modeling approach for managing IoT devices using Petri nets, including the justification for the use of these models and the results of their application.

The third part covers communication technologies used in IoT and examples of their implementation across various sectors, such as energy management, urban development, agriculture, and others. The fourth part focuses on project solutions, including wireless network protocols and the development of automated control systems.

The final sections address safety in production and emergency situations, emphasizing the importance of occupational safety requirements in the context of implementing cutting-edge technologies.

The research findings confirm the significant potential of Smart Home technologies to enhance comfort, safety, and resource management efficiency in the daily lives of contemporary users. The work also provides recommendations for future research directions and the improvement of existing solutions.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
ABSTRACT	3
ЗМІСТ	4
ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Огляд існуючих рішень Smart Home в галузі автоматизації.	10
1.2 Сучасні платформи для Smart Home	12
1.3 Home Assistant Cloud.....	15
1.4 Amazon Alexa Smart Home.	18
1.5 Esabee інтелектуальних інтелектуальне рішення для управління енергозбереженням.	22
1.6 ESPHome платформа розробки пристроїв Smart Home на базі мікроконтролерів ESP8266 та ESP32.	25
1.7 Google Assistant, штучний інтелект для управління пристроями.....	28
1.8 Apple HomeKit Bridge	31
1.9 Пристрої та модулі, які використовуються в Smart Home і в IoT.	34
2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	37
Моделювання управління пристроями на базі IoT за допомогою мереж Петрі	37
2.1 Обґрунтування використання моделей управління за допомогою мереж Петрі.....	37
2.2 Аналіз відомих рішень створення і аналізу мереж Петрі високого рівня	39
2.3 Принципи моделювання Smart Home за допомогою CNP.....	39
2.4 Реалізація моделі на базі CPN Tools.....	41
2.5 Модель пристрою на базі IoT.....	43
2.6 Результати моделювання за допомогою CNP	46

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	48
3.1 Технології, які застосовуються в Smart Home та IoT	48
3.2 Бездротові технології зв'язку в системах Smart Home.....	51
3.3 Приклади застосування технологій IoT та Smart Home у різних галузях	55
3.3.1 Розумні міста, приклади IoT для покращення міських центрів.	55
3.3.2 Розумний дім, програми IoT для більшої зручності вдома	56
3.3.3 Розумне управління енергією за допомогою пристроїв IoT	56
3.3.4 Сучасні пристрої IoT для інтелектуального управління будівлею	57
3.3.5 Приклади застосування IoT в транспортному секторі	58
3.3.6 Індустрія 4.0, приклади IoT у виробництві	59
3.3.7 Розумне сільське господарство за допомогою IoT	60
3.3.8 Shutterstock 2, Інтернет речей у роздрібній торгівлі.	60
3.3.9 Сприяння захисту навколишнього середовища через програми IoT	61
4 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	63
4.1 Мережеві протоколи для рішень Smart Home та IoT	63
4.2 Сумісність бездротових мережевих протоколів	66
4.3 Рішення IoT у розумній мережі та розумному домі	67
4.4 Цілісність системи основа для розумного дому на основі Інтернету речей	70
4.5 Радіочастотний модуль Digi International XBee, XBP24-A-001	74
4.6 Розробка автоматизованої системи управління і контролю на базі модуля обчислювача MCX53-34.x	85
4.6.5 Основні дискретні режими:.....	91
4.6.6 Режими аналогового виміру:.....	92
4.6.7 Режими дискретного виходу.....	93
4.6.8 Силові виходи.....	93
4.6.9 Відлагоджувальний роз'єм.....	94

4.6.10 Роз'єм розширення.....	94
4.6.11 Елемент живлення для RTC.....	94
4.6.12 Імпульсний стабілізатор(живлення вузла).	94
4.6.13 Схема формування сигналу ЦАП.....	95
4.6.14 Призначення виводів роз'ємів	96
4.6.15 Робота з модулем.....	101
5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	103
5.1 Моделювання Smart Home у програмі LabVIEW	103
5.2 Управління споживанням електроенергії побутовою технікою в Smart Home за допомогою алгоритмів HAMS.	106
6 ОХОРОНА ПРАЦІ	111
6.1 Загальні положення по охороні праці	112
6.2 Вимоги безпеки перед початком робіт	113
6.3 Вимоги безпеки під час роботи	115
6.4 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.....	116
7 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	118
7.1 Залежність розмірів осередків ураження від маси продуктів вибуху, (СДОР), їхнього тиску, метеоумов, і місцевості.	118
7.2 Оцінка хімічної обстановки	120
ВИСНОВОК.....	124
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	127

ВСТУП

Сучасний розвиток технологій змінює спосіб, яким ми взаємодіємо з навколишнім середовищем. Останні декілька десятиліть людство спостерігає стрімкий прогрес у галузі інформаційних і комунікаційних технологій, що відкрило нові горизонти для створення смарт-інфраструктур, зокрема і в сфері житлового будівництва [13, 14, 15, 16, 17]. Концепція "розумного будинку" стала невід'ємною частиною нашого повсякденного життя, пропонуючи рішення, які підвищують комфорт, безпеку та енергоефективність житлових приміщень.

Актуальність даної теми зумовлена ростом попиту на автоматизацію побутових процесів, що дозволяє зекономити час та ресурси, зменшуючи витрати на енергоспоживання і підвищуючи загальну якість життя. В умовах глобальних викликів, таких як зміна клімату, необхідність раціонального використання ресурсів стає ще більш важливою. Впровадження розумних технологій в побутовій сфері може значно полегшити вирішення цих завдань, завдяки інтеграції різноманітних систем управління та контролю.

Вдосконалення бездротових технологій зв'язку стало основою для популяризації концепції "інтернету речей" (IoT), який дозволяє учасникам смарт-екосистеми обмінюватись даними в реальному часі. Інтеграція таких систем у житлові приміщення забезпечує не лише автоматизацію повсякденних завдань (такі як регулювання освітлення, системи опалення, охорони), а й сприяє покращенню моніторингу умов життя, можливості управління будинком з відстані та налаштування індивідуальних сценаріїв залежно від потреб мешканців.

Мета даної роботи — розробка і дослідження автоматизованої системи управління розумним будинком на базі бездротових мереж, що дозволить не тільки забезпечити комфорт проживання, але і оптимізувати енергетичні витрати, а також підвищити рівень безпеки. У рамках роботи передбачається

аналіз існуючих систем управління, їх переваг і недоліків, а також проведення експериментів щодо реалізації прототипу системи на основі обраних технологій.

Завданням дослідження є:

Вивчення сучасних технологій бездротового зв'язку та їх вплив на ефективність систем управління.

Розробка архітектури автоматизованої системи управління, що включає вибір відповідних комунікаційних протоколів і апаратних засобів.

Проектування та реалізація прототипу системи з можливістю інтеграції додаткових модулів. Експериментальне дослідження ефективності розробленої системи в залежності від різних сценаріїв використання.

Дослідження в цій галузі стане вагомим внеском у розвиток інтелектуальних технологій для побутового застосування, а також відкриє нові можливості для подальшого вдосконалення систем автоматизації в контексті сталого розвитку. В результаті роботи очікується не лише створення дієвої моделі "розумного будинку", але й надання рекомендацій по її подальшому впровадженню та масштабуванню [20, 21, 22].

Вдосконалення бездротових технологій зв'язку стало основою для популяризації концепції "інтернету речей" (IoT), який дозволяє учасникам смарт-екосистеми обмінюватись даними в реальному часі. Системи Smart Home активно використовують різноманітні бездротові мережі, такі як Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave, Bluetooth та новітні технології, зокрема 5G, що забезпечують швидку та надійну передачу даних. Завдяки цим технологіям, користувачі мають можливість управління різними пристроями, такими як освітлення, системи опалення, безпеки і побутової техніки, через єдину платформу.

Бездротове підключення відіграє критичну роль у функціонуванні розумного будинку, адже воно дозволяє без проблем інтегрувати в систему нові пристрої без потреби в складному проводі. Це не лише значно спрощує процес налаштування, але й робить Smart Home доступним для ширшого

кола споживачів, адже обладнання може бути значно гнучкішим у розміщенні. В даній кваліфікаційній роботі поставлена мета розробити і дослідити автоматизовані системи управління розумним будинком на базі бездротових мереж, що дозволить не тільки забезпечити комфорт проживання, але й оптимізувати енергетичні витрати, а також підвищити рівень безпеки.

У рамках роботи передбачається провести аналіз існуючих систем управління на базі бездротових мереж, їх переваг і недоліків, а також проведення досліджень щодо реалізації прототипу системи на основі обраних технологій, для цього слід виконати наступні кроки:

- Вивчити сучасні технології бездротового зв'язку та їх вплив на ефективність систем управління.
- Розробити архітектуру автоматизованої системи управління на базі бездротових мереж, що включає вибір відповідних комунікаційних протоколів і апаратних засобів.
- Зпроектувати та реалізувати прототип системи з можливістю інтеграції додаткових модулів.
- Дослідити ефективність розробленої системи в залежності від різних сценаріїв використання.

Дослідження в цій галузі стане вагомим внеском у розвиток інтелектуальних технологій для побутового застосування, а також відкриє нові можливості для подальшого вдосконалення систем автоматизації в контексті сталого розвитку [23, 24, 25]. В результаті роботи очікується не лише створення дієвої моделі "розумного будинку", але й надання рекомендацій про її подальше впровадження та масштабування. Сумісне використання бездротових технологій та IoT знаходять своє відображення в концепції розумного дому, яка має всі шанси істотно змінити наше повсякденне життя і вплинути на майбутнє технологічного прогресу і та використанні.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Огляд існуючих рішень Smart Home в галузі автоматизації.

Система "розумного будинку" (Smart Home) охоплює широкий спектр рішень, спрямованих на автоматизацію управління різними аспектами житла. Основні категорії та приклади рішень у цій галузі включають:

1. Системи освітлення

Управління освітленням: Інтелектуальні лампи, такі як Philips Hue або LIFX, дозволяють користувачам змінювати яскравість і колір світла за допомогою мобільного додатку або голосових команд [26, 27].

Автоматизація сценаріїв: З системами, як-от Amazon Echo або Google Home, можливо програмувати сценарії, при яких освітлення активується під час заходу сонця або при вході в кімнату.

2. Системи безпеки та відеоспостереження

Камери спостереження: Пристрої, такі як Arlo або Nest Cam, забезпечують відео в реальному часі та записування викликів, які користувач може переглядати через мобільний додаток [28, 29].

Сигналізації та детектори руху: Такі системи, як Ring, пропонують інтеграцію відеодомофонів та сигналізацій, що можна контролювати з одного додатку.

3. Системи контролю температури

Термостати: Прилади, як-от Nest Learning Thermostat або Ecobee, навчаються з часом та можуть автоматично налаштовувати температуру в домі для пікового комфорту та енергоефективності [30, 31].

Системи опалення та охолодження: Інтеграція з кондиціонерами або системами обігріву забезпечує оптимізацію споживання енергії залежно від присутності людей у приміщенні.

4. Побутова техніка та енергоменеджмент

Смарт-побутова техніка: Пристрої (наприклад, пральні машини,

холодильники, духовки), такі як Samsung Smart Fridge або LG Smart Oven, можуть бути підключені до домашньої мережі для моніторингу та управління з відстані [32, 33].

Енергетичні монітори: Пристрої, як Sense або Neurio, дозволяють користувачам відстежувати споживання енергії в реальному часі та виявляти електроприлади.

5. Управління мультимедіа

Системи розваг: Пристрої, як-от Sonos або Google Chromecast, можливлюють передачу медіа контенту на різні платформи з центрального мобільного додатку [34, 35].

Системи домашнього кінотеатру: Інтеграція телевізорів, проекторів та звукової апаратури для створення кінематографічного досвіду з можливістю управління через одну платформу.

6. Управління доступом

Смарт-замки: Пристрої, такі як August Smart Lock або Schlage Encode, дозволяють віддалене управління доступом до житла через мобільний додаток, а також моніторинг активності користувачів [36, 37].

Системи для управління гаражами: Пристрої, як MyQ, можуть контролювати відкриття і закриття гаражних воріт з будь-якої точки світу.

7. Системи моніторингу якості повітря

Детектори якості повітря: Пристрої, такі як Eve Room або Netatmo Weather Station, вимірюють рівень забруднення повітря та інші фактори, такі як вологість і температура, пропонуючи рекомендації щодо покращення умов в дому [38, 39].

Системи Smart Home пропонують величезні можливості для підвищення комфорту, безпеки та енергоефективності в житлах. Завдяки постійному розвитку бездротових технологій та концепцій IoT, існуючі рішення продовжують розширюватися, адаптуватись до потреб користувачів і інтегруватись одна з одною, створюючи все більш складні та ефективні

смарт-екосистеми. Однак, незважаючи на численні переваги, важливо також враховувати питання безпеки та конфіденційності, які супроводжують впровадження цих технологій.

1.2 Сучасні платформи для Smart Home

Сучасні платформи для "розумного будинку" грають ключову роль у забезпеченні інтеграції та управлінні широким спектром пристроїв у межах єдиної екосистеми. Ці платформи дозволяють користувачам зручно контролювати різні компоненти свого домашнього середовища, незалежно від того, чи йдеться про освітлення, системи безпеки, побутову техніку чи мультимедіа [40, 41, 42]. Завдяки цій інтеграції, користувачі можуть створювати автоматизовані сценарії та налаштовувати персоналізований досвід, покращуючи комфорт, безпеку та енергоефективність свого житла.

Сучасні платформи для Smart Home забезпечують інтеграцію автоматизованого управління різними пристроями в рамках єдиної системи. Розглянемо деякі з найпопулярніших платформ, які використовуються в галузі Smart Home:

Amazon Alexa.

Платформа на базі голосового асистента, яка дозволяє керувати багатьма пристроями розумного будинку, включаючи освітлення, камери безпеки та аудіосистеми. Вона підтримує безліч сторонніх пристроїв через API.

Google Assistant.

Інший популярний голосовий асистент, який інтегрується з пристроями Smart Home через Google Home. Він дозволяє виконувати різноманітні команди та сценарії.

Apple HomeKit.

Екосистема, що забезпечує інтеграцію з пристроями Apple, дозволяючи користувачам керувати різними компонентами розумного дому за допомогою

додатку Home на iOS, а також за допомогою голосового асистента Siri.

Samsung SmartThings.

Платформа, яка підтримує численні пристрої і протоколи зв'язку, дозволяючи створювати сценарії автоматизації та управляти ними з одного інтерфейсу.

Control4.

Професійна платформа управління Smart Home, яка пропонує інтеграцію систем освітлення, мультимедіа, безпеки та інших послуг у єдину платформу.

Zigbee.

Не є платформою, а протоколом бездротового зв'язку, який дозволяє інтегрувати різноманітні пристрої Smart Home у єдину мережу. Відзначається низьким споживанням енергії та можливістю створення mesh-мережі.

Home Assistant.

Відкритий проєкт, що дозволяє користувачам створювати власні рішення для автоматизації будинку, працюючи з багатьма пристроями та протоколами. Платформа підтримує інтеграцію з тисячами пристроїв.

IFTTT (If This Then That).

Платформа, що дозволяє створювати автоматизовані сценарії зв'язування різних сервісів і пристроїв. Наприклад, можна налаштувати, щоб при виявленні руху в саду вмикалися освітлення або надсилося повідомлення.

Системи Smart Home пропонують оптимальні рішення для підвищення комфорту, безпеки та енергоефективності в житлах. Завдяки постійному розвитку бездротових технологій та концепцій IoT, існуючі платформи розширюються, адаптуються до потреб користувачів. Проходить неперервний процес об'єднання технологій та принципів організації Smart Home та IoT, утворюючи все більш складні та ефективні смарт-системи в побуті та в різних галузях промисловості [43, 44, 45, 46]. Однак, незважаючи

на численні переваги, важливо також враховувати питання безпеки та конфіденційності, які супроводжують впровадження цих технологій.

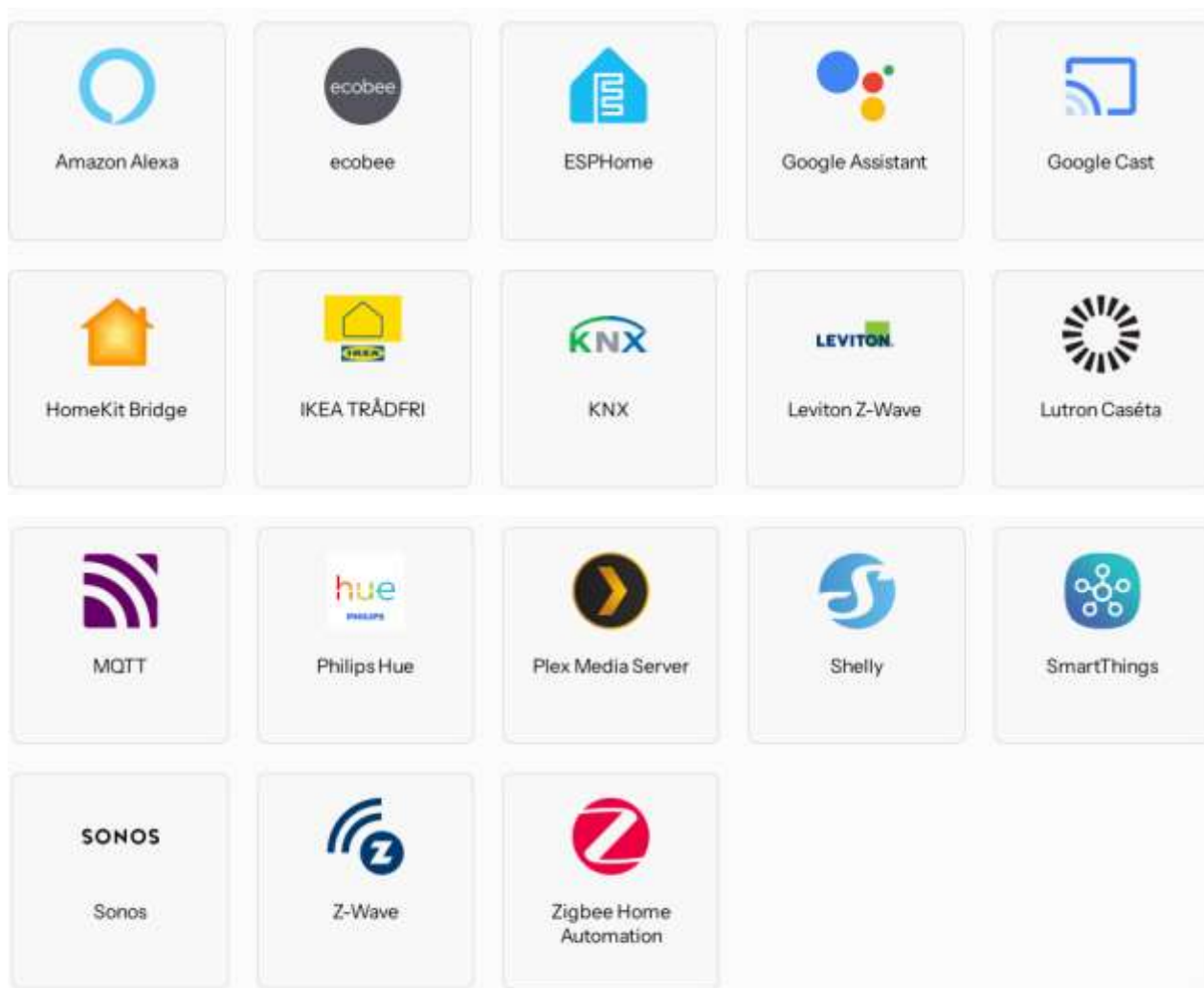


Рисунок 1.1 – Логотипи платформ Smart Home та IoT

1.3 Home Assistant Cloud

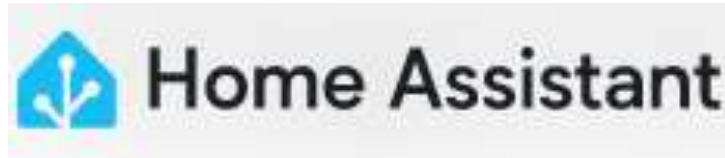


Рисунок 1.2 – Home Assistant Cloud

Home Assistant Cloud – це платна послуга, яка надається в рамках екосистеми Home Assistant, спрямована на спрощення використання та налаштування розумного будинку. Сервіс має на меті забезпечити безпечну та зручну віддалену доступність вашої системи Home Assistant через хмару, а також інтеграцію з різними сторонніми сервісами. Ось детальна характеристика Home Assistant Cloud.

Основні можливості Home Assistant Cloud

Віддалений доступ:

Home Assistant Cloud дозволяє користувачам отримувати доступ до їх системи Home Assistant з будь-якої точки світу через інтернет. Це означає, що ви можете контролювати та моніторити свої пристрої в домашній мережі без необхідності налаштування складного маршрутизатора або використання статичних IP-адрес.

Безпека даних:

Всі дані, що передаються через Home Assistant Cloud, шифруються, що забезпечує високий рівень безпеки ваших особистих даних. Це особливо важливо, якщо ваша система містить чутливу інформацію або особисті моменти.

Інтеграція з Alexa та Google Assistant:

Home Assistant Cloud спрощує інтеграцію з популярними голосовими асистентами, такими як Amazon Alexa та Google Assistant. Це дозволяє користувачам керувати своїми пристроями за допомогою голосових команд, що значно полегшує взаємодію з системою.

Технологія "Push Notifications":

Послуга підтримує функцію пуш-сповіщень, що дозволяє вам отримувати

миттєві повідомлення про події та стан ваших пристроїв у телефоні, яка може бути корисною для моніторингу безпеки, роботи системи, а також для отримання нагадувань.

Доступ до нових функцій:

Підписка на Home Assistant Cloud одночасно надає доступ до бета-функцій і нових можливостей, що з'являються у Home Assistant. Це дозволяє отримати переваги від останніх оновлень і поліпшень без необхідності займатися налаштуванням.

Синхронізація з іншими сервісами:

Хмара Home Assistant забезпечує інтеграцію з сервісами, такими як Stripe, для обробки платежів, дистанційного зберігання та інших функцій, які можуть бути корисні в домашньому автоматизації.

Переваги Home Assistant Cloud:

- Простота використання. Немає потреби в складних налаштуваннях; ви можете почати використовувати сервіс за лічені хвилини.
- Надійність. Власники Home Assistant можуть бути впевнені в тому, що їх дані будуть залишатися захищеними та доступними всьому часу.
- Активний розвиток. Home Assistant Cloud постійно оновлюється та вдосконалюється, пропонуючи нові можливості користувачам.

Недоліки Home Assistant Cloud:

- Плата за підписку. Home Assistant Cloud є платним сервісом, що може обмежити користувачів, які шукають безкоштовні рішення.
- Залежність від інтернету. Для доступу до вашої домашньої автоматизації через хмару потрібне стабільне з'єднання з інтернетом. У разі його відсутності деякі функції можуть бути недоступні.

Висновок, Home Assistant Cloud пропонує зручний та безпечний спосіб інтеграції вашої системи Smart Home з популярними сервісами і забезпечує можливість віддаленого управління. Він підходить для тих, хто цінує простоту і функціональність, а також бажає мати доступ до розширених

можливостей автоматизації без надмірних технічних ускладнень. Сервіс стає особливо корисним для користувачів, які користуються голосовими асистентами та хочуть створити справжню смарт-екосистему у своєму домі.

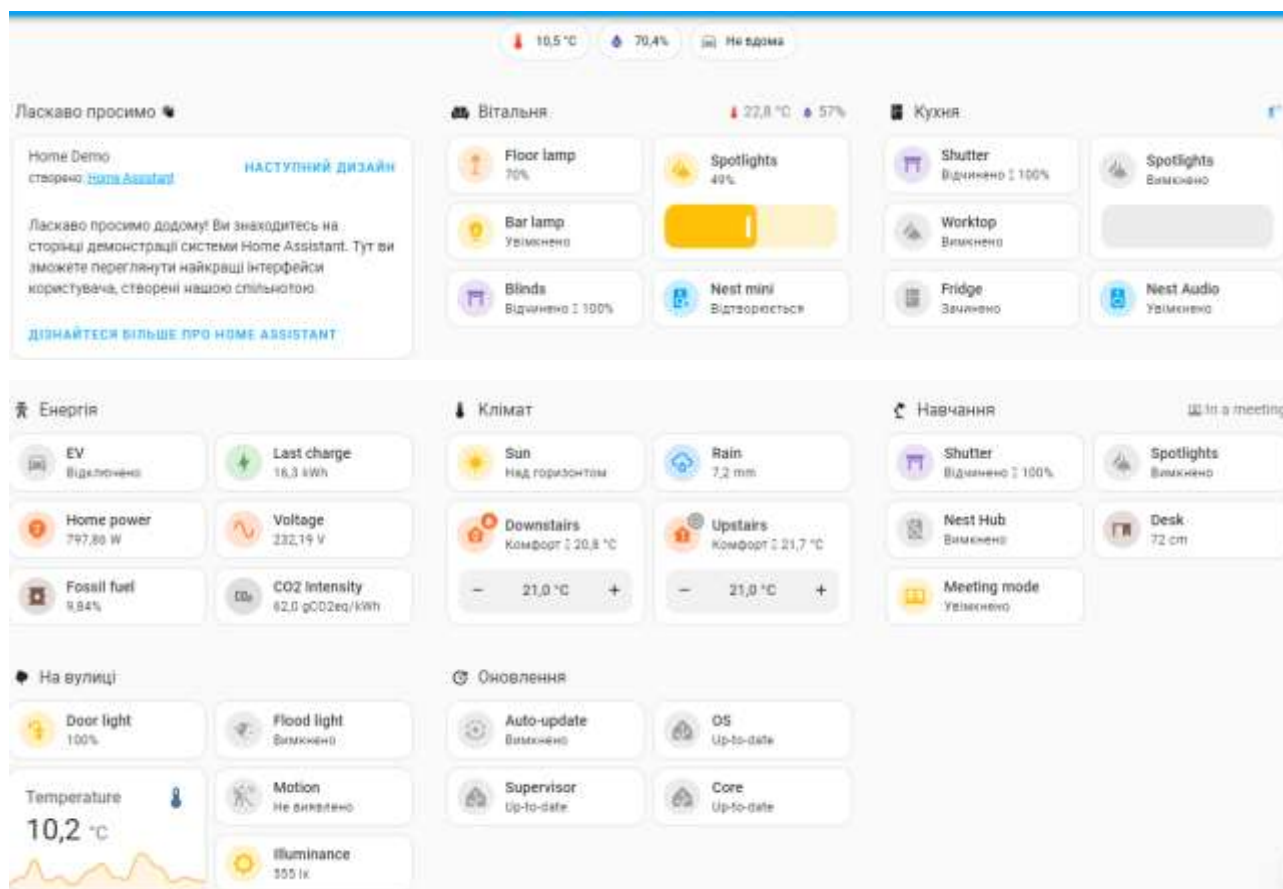


Рисунок 1.3 – Хмарний Web-Інтерфейс Home Assistant Cloud

1.4 Amazon Alexa Smart Home.

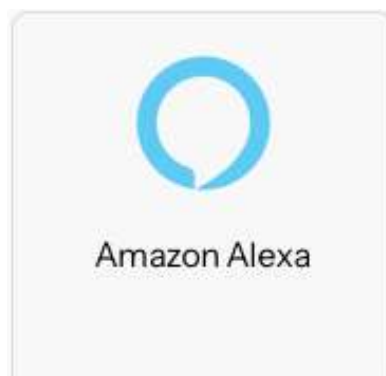


Рисунок 1.4 – Home Assistant Cloud

Alexa Smart Home – це платформа для розумного будинку, створена компанією Amazon, яка дозволяє користувачам управляти різноманітними пристроями та системами автоматизації через голосовий асистент Alexa. Платформа підтримує широкий спектр пристроїв, що робить її однією з найпопулярніших у сфері Smart Home. Ось розгорнута характеристика Alexa Smart Home:

Основні можливості Alexa Smart Home

Голосове управління.

Alexa надає користувачам можливість керувати пристроями розумного будинку за допомогою голосових команд. Наприклад, можна просто сказати "Alexa, увімкни світло у вітальні" або "Alexa, підвищ температуру до 22 градусів", і система виконає ці запити.

Сумісність з різними пристроями.

Платформа підтримує безліч брендів та пристроїв, включаючи освітлення (Philips Hue, LIFX), термостати (Nest, Ecobee), системи безпеки (Ring, Arlo), мультимедіа (Sonos, Fire TV) та багато інших. Це забезпечує більшу гнучкість при виборі пристроїв для вашого розумного дому.

Сценарії та алгоритми дій.

Alexa дозволяє користувачам створювати автоматизовані сценарії, при яких кілька дій виконуються одночасно за однією командою. Наприклад, ви можете налаштувати рутину "Добрий ранок", яка вмикає освітлення, запускає

кавоварку і оголошує прогноз погоди.

Взаємодія з іншими платформами.

Alexa може інтегруватися з іншими платформами для Smart Home, такими як SmartThings, IFTTT (If This Then That) та Home Assistant. Це дозволяє розширювати функціональність платформи та працювати з пристроями, які не є безпосередньо сумісними з Alexa.

Monitoreing and Alerts.

Alexa надає можливість моніторингу стану пристроїв і може надсилати сповіщення про зміни. Наприклад, ви можете отримати повідомлення, якщо двері залишилися відкритими, або якщо в дитячій кімнаті виявлений рух.

Безпека та конфіденційність.

Amazon реалізує різні аспекти безпеки у Alexa, зокрема можливість контролювати доступ до даних, налаштовувати нагадування для видалення історії запитів. Користувачі також можуть налаштувати PIN-коди для налаштувань конфіденційності.

Переваги Alexa Smart Home:

- Простота у використанні. Зручний інтерфейс і голосове управління роблять Alexa доступною для користувачів будь-якого рівня технічної підготовки.
- Широкий вибір пристроїв. Широка підтримка різних виробників, що дозволяє користувачам створювати індивідуальні системи Smart Home з обраною продукцією.
- Регулярні оновлення. Amazon постійно вдосконалює платформу, додаючи нові можливості, функції та покращення, що дозволяє покращувати досвід користування.

Недоліки Alexa Smart Home:

- Залежність від Інтернету. Для роботи Alexa необхідне стабільне з'єднання з інтернетом. У разі відключення інтернету функціонал пристроїв Smart Home може бути обмежений.

- Конфіденційність. Використання голосового асистента може викликати побоювання з приводу конфіденційності, оскільки мікрофон постійно активний для прослуховування команд. Хоча Amazon забезпечує налаштування конфіденційності, деякі користувачі можуть залишитися незадоволеними.
- Проблеми зі з'єднанням. Іноді виникають проблеми з підключенням до пристроїв, особливо при інтеграції з новими або менш популярними брендами.

Висновок. Alexa Smart Home є потужною та гнучкою платформою, що пропонує численні можливості для автоматизації і контролю розумного дому. Завдяки зручності використання, широкій підтримці пристроїв і можливостям інтеграції вона стає ідеальним вибором для користувачів різного рівня підготовки. Незважаючи на певні недоліки, такі як залежність від інтернету і питання конфіденційності, Alexa забезпечує ефективне рішення для створення сучасного смарт-домашнього середовища.

Вимоги.

Налаштування інтеграції з Amazon Alexa вимагає кількох вимог. Обліковий запис розробника Amazon. Для створення настроюваних команд і Flash Briefing потрібно, щоб екземпляр Home Assistant був доступний з Інтернету через HTTPS на порту 443.

Обліковий запис AWS потрібен, якщо використовується Smart Home Skill API. Частина навичок Smart Home Skill буде розміщено на AWS Lambda. AWS Lambda безкоштовна для до 1 мільйона запитів і 1 ГБ вихідної передачі даних на місяць. API Smart Home також потребує, щоб ваш екземпляр Home Assistant був доступний з Інтернету.

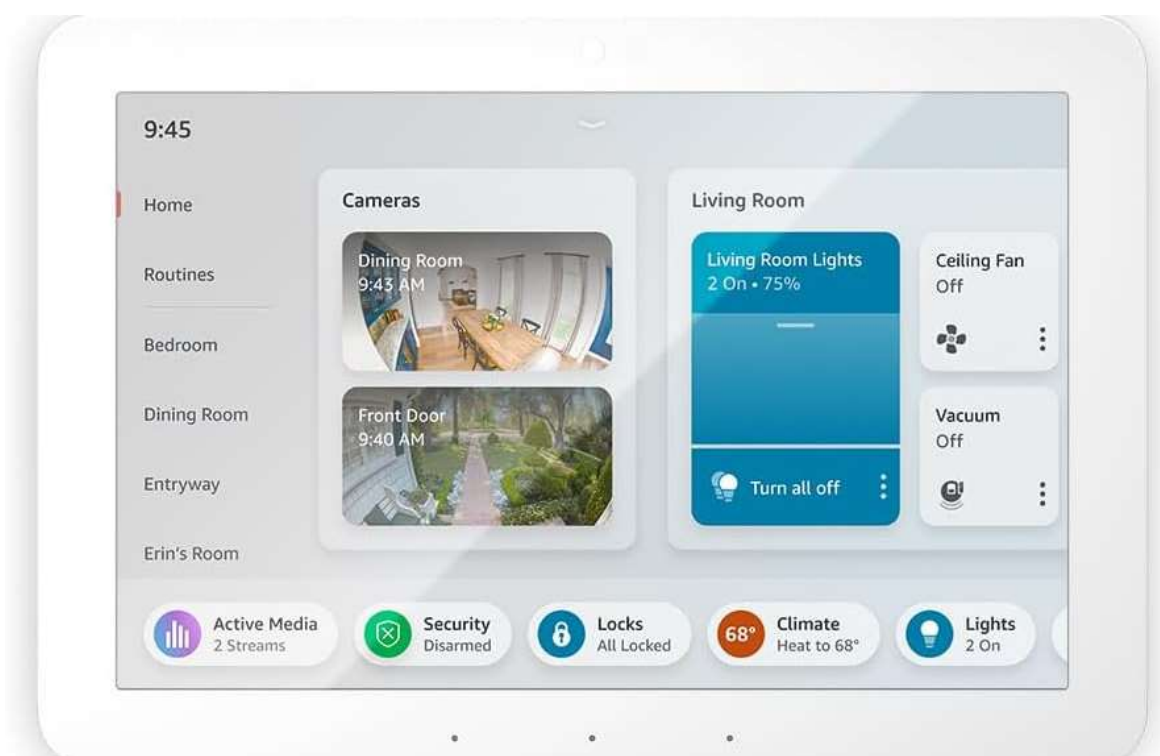


Рисунок 1.5 – Amazon Echo Hub, 8-дюймова панель керування розумним будинком із Alexa

1.5 Ecobee інтелектуальних інтелектуальне рішення для управління енергозбереженням.



Рисунок 1.6 – Логотип Ecobee.

Ecobee – це компанія, що спеціалізується на розробці інтелектуальних термостатів та рішень для управління енергією, які підвищують ефективність використання енергії, забезпечують комфорт та зручність у домі. Основним продуктом компанії є термостати Ecobee, які відрізняються сучасним дизайном, функціональністю, можливістю підключення до системи Smart Home та інтеграцією з голосовими асистентами. Ось докладна характеристика Ecobee.

Основні можливості Ecobee

- Інтелектуальне управління температурою. Ecobee термостати автоматично регулюють температуру в приміщенні, виходячи з вашого графіка, уподобань та виявлених звичок. Вони можуть адаптуватись до змін у споживанні енергії, щоб знизити витрати на комунальні послуги.
- Датчики безпеки. Багато моделей термостатів Ecobee постачаються з додатковими датчиками, які дозволяють моніторити температуру в різних кімнатах. Це забезпечує точність управління кліматом у всьому будинку, оскільки термостати можуть враховувати температуру в тих приміщеннях, де ви знаходитесь.
- Взаємодія з голосовими асистентами. Ecobee сумісні з популярними голосовими асистентами, такими як Amazon Alexa, Google Assistant і Apple HomeKit. Це дозволяє користувачам керувати термостатом за

допомогою голосових команд, що робить процес управління більш зручним.

- Мобільний додаток. Ecobee надає мобільний додаток для iOS і Android, яке дозволяє користувачам віддалено контролювати температуру, налаштування та переглядати споживання енергії. Додаток також надсилає сповіщення про можливі проблеми з системою обігріву або охолодження.
- Енергозбереження. Ecobee допомагає знизити витрати на енергію завдяки функції управління споживанням, де можна встановити графіки, щоб оптимізувати нагрівання та охолодження в найефективніший спосіб.
- Аналіз витрат. Деякі моделі термостатів Ecobee надають функцію аналізу споживання енергії, повідомляючи користувачів про їх витрати на обігрів та охолодження, а також пропонують способи для економії.

Переваги Ecobee:

- Гнучкість. Ecobee надає можливість контролювати температуру у різних приміщеннях, що дозволяє створити оптимальний клімат у домі.
- Інтеграція з Smart Home. Система легко інтегрується з іншими пристроями Smart Home, що дозволяє створювати безшовну екосистему контролю.
- Легкість у використанні. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, як на термостатах, так і в мобільному додатку, забезпечує простоту налаштування та управління.
- Висока точність. Термостати Ecobee забезпечують високий рівень точності вимірювання температури, що сприяє комфортному клімату в приміщеннях.

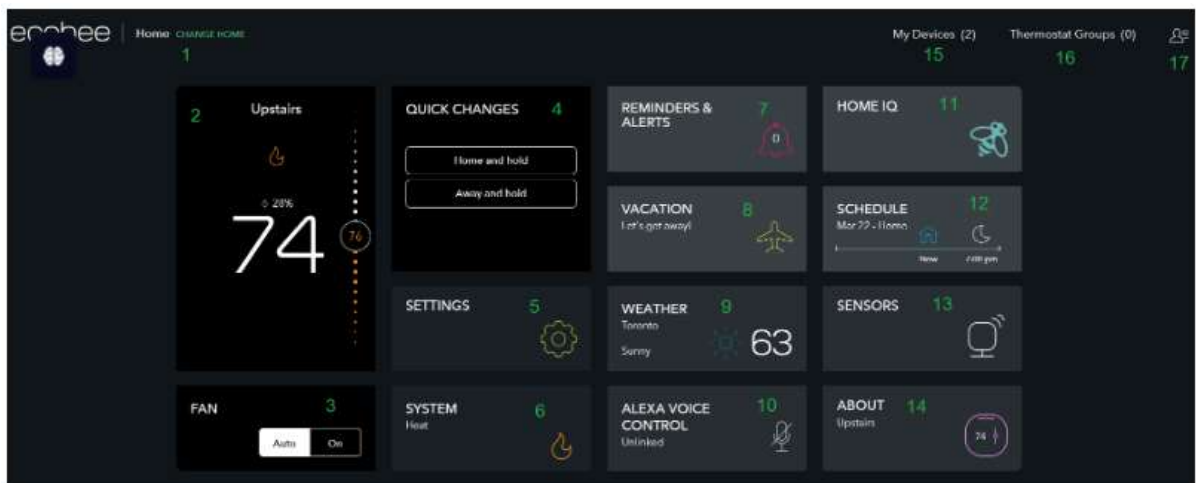
Недоліки Ecobee:

- Ціна. Такі термостати можуть бути дорогими в порівнянні з традиційними моделями, що може бути перешкодою для деяких

користувачів.

- Складність установки. Хоча компанія надає докладні інструкції, установка термостату вимагає певних технічних навичок, особливо якщо у вас є специфічні системи обігріву.
- Залежність від Інтернету. Для використання деяких функцій і дистанційного доступу необхідне стабільне підключення до Інтернету.

Висновок. Ecobee – це інноваційний продукт, який поєднує у собі зручність, енергоефективність та інтеграцію з сучасними технологіями. Завдяки своїм можливостям та функціям, термостати Ecobee є відмінним вибором для тих, хто хоче поліпшити контроль за комфортом у своєму домі та знизити витрати на комунальні послуги. Незважаючи на деякі недоліки, пов'язані з ціною та установкою, Ecobee залишається одним із лідерів на ринку розумних термостатів.



1 Home selector	2 Thermostat main screen	3 Fan settings toggle
4 Quick Changes menu	5 Settings menu	6 System Mode menu
7 Reminders & Alerts menu	8 Vacation menu	9 Weather menu
10 Alexa Voice Control menu	11 HomeIQ menu	12 Schedule menu
13 Sensors menu	14 About menu	15 My Devices toggle
16 Thermostat Grouping menu	17 Account Details menu	

Рисунок 1.7 – Інтерфейс Ecobee Smart Home

1.6 ESPHome платформа розробки пристроїв Smart Home на базі мікроконтролерів ESP8266 та ESP32.

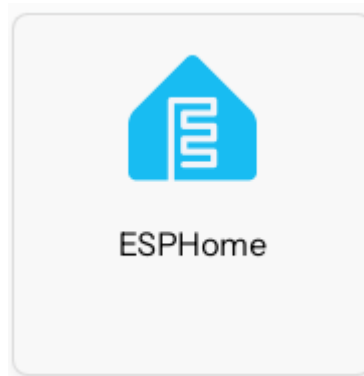


Рисунок 1.7 – Логотип ESPHome

ESPHome – це потужна платформа для швидкого розроблення й налаштування прошивок для пристроїв Smart Home на базі мікроконтролерів ESP8266 та ESP32. Вона дозволяє розробникам і ентузіастам створювати пристрої для домашньої автоматизації й IoT з простим користувацьким інтерфейсом, використовуючи YAML конфігурації. ESPHome часто використовується в комбінації з Home Assistant, але також може працювати автономно або з іншими системами. Ось докладно про особливості та можливості ESPHome:

Основні можливості ESPHome:

- Легка конфігурація. ESPHome використовує YAML для налаштування прошивок, що робить процес зрозумілим та доступним навіть для користувачів без глибоких знань програмування. Користувачі можуть легко писати конфігурації для різних компонентів, таких як сенсори, реле, світлодіоди тощо.
- Підтримка безлічі компонентів. ESPHome підтримує широкий спектр компонентів, включаючи сенсори (температури, вологості, руху), реле, світлодіоди, дисплеї, мікрофони та багато інших. Це дозволяє створювати різноманітні проекти для автоматизації.
- Автоматизація та сценарії. Користувачі можуть створювати автоматизовані сценарії та правила для управління пристроями на

основі певних подій або умов. Наприклад, ви можете налаштувати пристрій на включення світла при виявленні руху.

- Моніторинг і сповіщення. ESPHome дозволяє моніторити дані в реальному часі, а також надсилати сповіщення про певні події на мобільний телефон або інші пристрої за допомогою інтеграцій із сервісами, такими як Home Assistant.
- Локальна взаємодія. ESPHome підтримує локальний обмін та обробку даних. Це означає, що всі дані обробляються локально на пристрої без необхідності в постійному з'єднанні з Інтернетом, що підвищує безпеку.
- Легке оновлення прошивки. Прошивки для ESPHome можуть бути легко оновлені через Wi-Fi (OTA – Over-The-Air), що робить процес управління устройствами дуже зручним.
- Підтримка інтерфейсів. ESPHome має підтримку інтеграції з різними інтерфейсами, такими як MQTT, Home Assistant, API REST, що робить його гнучким у використанні з різними системами автоматизації.

Переваги ESPHome:

- Простота у використанні. Завдяки YAML-конфігурації, налаштування пристроїв є простим та зрозумілим, що робить ESPHome доступним для широкого кола користувачів.
- Гнучкість та модульність. Платформа дозволяє легко додавати нові компоненти та функції, що забезпечує гнучкість в розробці проєктів.
- Спільнота та підтримка. ESPHome має активну спільноту користувачів, що забезпечує підтримку та обмін досвідом через форуми, GitHub та інші платформи.

Недоліки ESPHome:

- Необхідність знань у YAML: Хоча конфігурація в YAML є простою, деякі користувачі без технічного фону можуть стикатися з труднощами.

- Обмежена функціональність для складних проектів. Хоча ESPHome підходить для багатьох базових проектів, деякі складніші сценарії можуть вимагати додаткового програмування на C++.
- Залежність від специфічних компонентів. Деякі користувачі можуть зіткнутися з обмеженнями щодо специфічних компонентів чи сенсорів, не всі з яких можуть бути підтриманими.

Висновок. ESPHome – це потужний інструмент для автоматизації та розвитку IoT-проектів, що надає можливість користувачам легко створювати та налаштовувати свої власні пристрої. Завдяки простоті використання, гнучкості та широкій підтримці компонентів, ESPHome стає відмінним вибором для тих, хто хоче урізноманітнити свій розумний дім або займатися хобі в сфері автоматизації. Незважаючи на деякі виклики, платформа продовжує набирати популярність серед ентузіастів і професіоналів у галузі.

Ооб установити ESPHome Device Compiler у Home Assistant, потрібно відкрити сторінку надбудови ESPHome, і натиснути кнопку INSTALL. Відкрити екземпляр Home Assistant і вказати інтерфейс користувача надбудови ESPHome.

Після установлення надбудови потрібно натиснути кнопку «Пуск», а потім «Відкрити веб-інтерфейс».

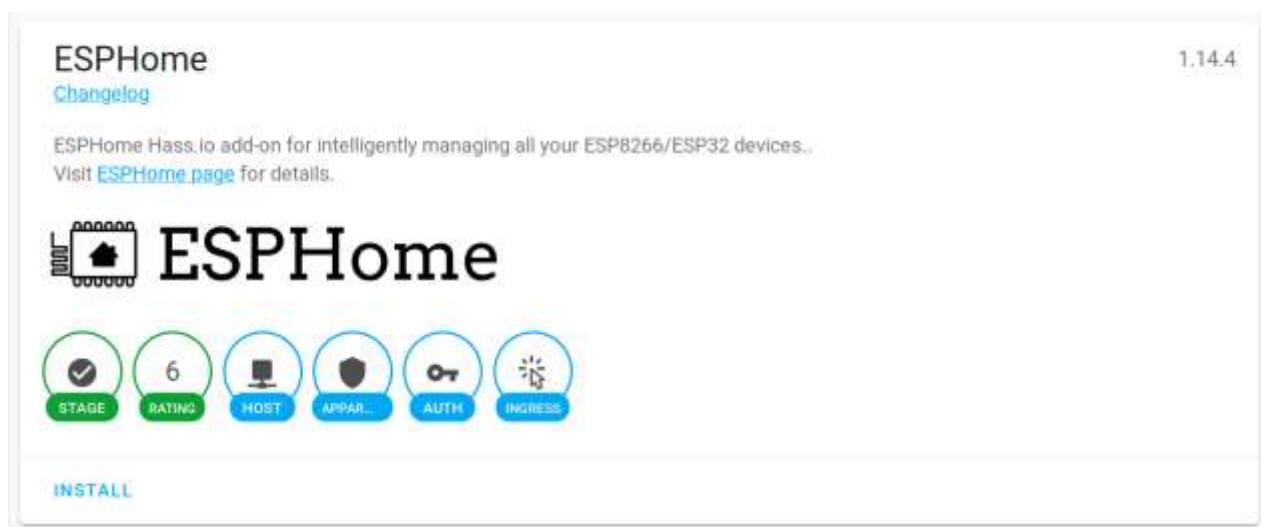


Рисунок 1.8 – ESPHome Device Compiler у Home Assistant надбудова ESPHome.

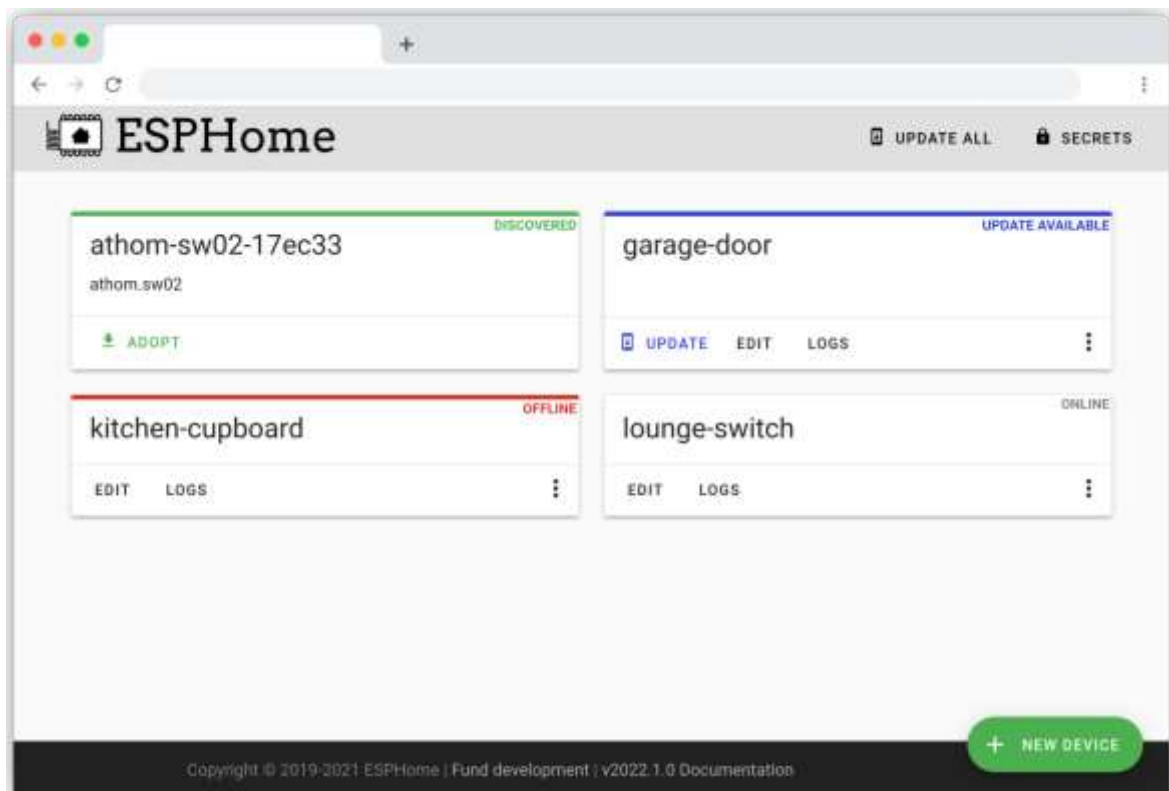


Рисунок 1.9 – Home Assistant, ESPHome Device Compiler надбудова ESPHome.

1.7 Google Assistant, штучний інтелект для управління пристроями

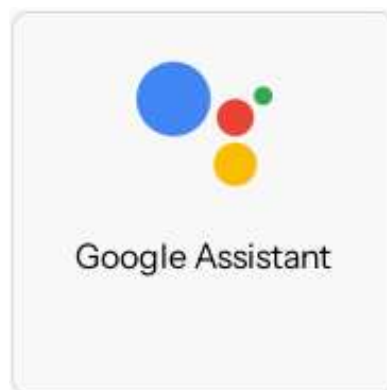


Рисунок 1.10 – Логотип Google Assistant

Google Assistant – це голосовий помічник, розроблений компанією Google, який використовує штучний інтелект (ШІ) для розвитку функцій, пов'язаних із викликами, управлінням пристроями та доступом до інформації.

Він доступний на різних пристроях, включаючи смартфони, смарт-

динаміки, планшети, комп'ютери, телевізори та інші пристрої. Ось детальна характеристика Google Assistant:

Основні можливості Google Assistant:

- **Голосове управління.** Google Assistant може виконувати команди, які ви віддаєте за допомогою голосу. Це охоплює запитання, налаштування нагадувань, керування пристроями та багато іншого. Просто скажіть "Hey Google" або "Ok Google", щоб активувати його.
- **Інтеграція з сервісами Google.** Google Assistant тісно інтегрований із сервісами Google, такими як Google Calendar, Google Maps, Gmail, Google Photos та іншими. Це дозволяє користувачам легко отримувати доступ до своїх даних, управляти подіями та знаходити інформацію в мережі.
- **Управління смарт-пристроями.** Користувачі можуть керувати широким спектром смарт-пристроїв, таких як освітлення, термостати, камери безпеки та системи розваг. Google Assistant підтримує пристрої від багатьох виробників, дозволяючи створювати інтегровану систему Smart Home.
- **Розумні відповіді на запитання.** Google Assistant може давати відповіді на різноманітні запитання, включаючи фактичні дані, прогнози погоди, новини, рекомендації з ресторанів тощо. Він використовує інформацію з Інтернету для надання точних відповідей.
- **Особисті рекомендації та контекстуальність.** Google Assistant має здатність запам'ятовувати асоційовані запити, що дозволяє надавати контекстуальну інформацію. Наприклад, якщо ви спитаєте про погоду в певному місті, а потім про прогнози на вихідні, він зможе надати відповідь без повторного введення міста.
- **Нагадування та події.** Користувачі можуть встановлювати нагадування, планувати події в календарі та отримувати сповіщення. Наприклад, ви можете сказати "Нагадати мені купити молоко завтра о 15:00", і Google

Assistant зробить це.

- Мультимедійні функції. Google Assistant дозволяє відтворювати музику, подкасти та відео. Ви можете запустити улюблені треки в Google Play Music, Spotify, YouTube або інших потокових сервісах.
- Переклади та мови. Google Assistant має вбудовану функцію перекладу, що дозволяє здійснювати усні переклади в режимі реального часу між різними мовами.

Переваги Google Assistant:

- Сильна інтеграція з екосистемою Google: Підключення до різних сервісів Google робить його дуже корисним для тих, хто активно користується продуктами компанії.
- Висока точність розпізнавання мови: Завдяки використанню технологій машинного навчання, Google Assistant добре розуміє природну мову та може точно розпізнавати голосові команди.
- Широкий доступ до інформації: Завдяки потужному пошуковому механізму Google, Assistant може надавати точні відповіді на запитання, що охоплюють різні теми.

Недоліки Google Assistant:

- Конфіденційність. Використання Google Assistant може викликати занепокоєння з приводу збору даних і конфіденційності, оскільки система може записувати й аналізувати голосові команди.
- Залежність від інтернет-з'єднання. Google Assistant вимагає стабільного підключення до Інтернету для роботи, що може бути проблемою в умовах поганого зв'язку.
- Обмеження в регіонах. Деякі функції можуть бути недоступні в певних регіонах або країнах через законодавчі обмеження або мову.

Висновок. Google Assistant є потужним інструментом для автоматизації багатьох аспектів повсякденного життя, завдяки своїй здатності виконувати команди голосом, інтеграції з іншими сервісами Google та можливості

керувати смарт-пристроями. Його простота у використанні та широка спектр можливостей роблять його ідеальним вибором для користувачів, які шукають зручність у повсякденних завданнях. Попри деякі недоліки, такі як питання конфіденційності та залежність від Інтернету, Google Assistant продовжує залишатися одним із найпопулярніших голосових помічників на ринку.

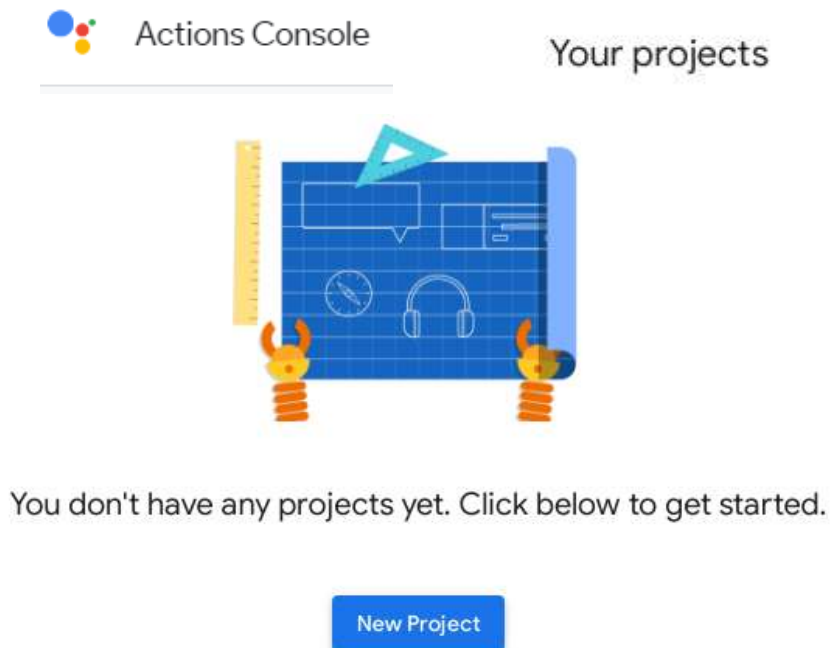


Рисунок 1.11 – Actions Console Google Assistant .

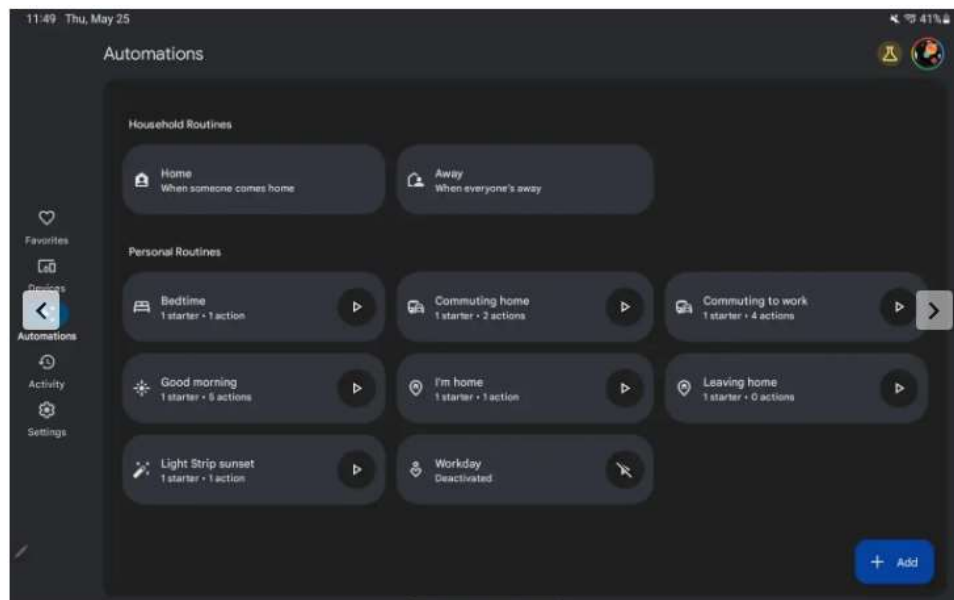


Рисунок 1.12 – Розгортання Google Home 3.1 з новими елементами керування Google Assistant.

1.8 Apple HomeKit Bridge



Рисунок 1.13 – Логотип ESPHome Device Compiler у Home Assistant
надбудова ESPHome.

HomeKit Bridge – це рішення, яке дозволяє інтегрувати несертифіковані або сторонні пристрої з екосистемою Apple HomeKit для управління розумним домом. Це особливо корисно для користувачів, які мають пристрої, які не підтримують HomeKit за замовчуванням, але вони хочуть включити їх у свою хмарну або локальну екосистему розумного дому на базі HomeKit.

Основні особливості HomeKit Bridge:

- Інтеграція з HomeKit. HomeKit Bridge дозволяє користувачам додавати пристрої, які раніше не підтримували HomeKit, до екосистеми Apple. Це означає, що ви можете управляти всіма вашими пристроями з одного місця, використовуючи додаток «Дім» (Home) на iOS або macOS.
- Протокол HomeKit. З HomeKit Bridge користувачі можуть скористатися протоколами HomeKit, такими як HAP (HomeKit Accessory Protocol), для відіслання команд та отримання статусів від пристроїв. Це забезпечує безпеку, шифрування та захист даних при управлінні.
- Керування через Siri. Користувачі можуть керувати пристроями, підключеними до HomeKit Bridge, через голосового помічника Siri. Це дає змогу з легкістю виконувати команди, такі як "Включити світло в вітальні" або "Поставити термостат на 22 градуси".
- Сценарії автоматизації. HomeKit дозволяє налаштовувати автоматизацію на базі подій або часу доби. Наприклад, ви можете

налаштувати сценарій, який автоматично вмикає світло при заході сонця або закриває штори в певний час.

- Сумісність із сторонніми додатками. HomeKit Bridge може працювати в поєднанні з різними сторонніми платформи та сервісами, що дозволяє розширити можливості керування пристроями та зберігати якість обслуговування.

Переваги HomeKit Bridge:

- Підключення до великої екосистеми. HomeKit Bridge дозволяє інтегрувати численні пристрої в єдину систему без необхідності заміни існуючого обладнання.
- Безпека та конфіденційність. Apple славиться своєю увагою до безпеки даних, тому використання HomeKit Bridge дозволяє забезпечити високий рівень захисту особистої інформації.
- Гнучкість в налаштуванні. Користувачі можуть персоналізувати та налаштовувати доступ до своїх пристроїв відповідно до власних вподобань за допомогою налаштувань у HomeKit.

Недоліки HomeKit Bridge:

- Складність налаштування. Для інтеграції пристроїв через HomeKit Bridge може бути потрібен певний технічний досвід. Користувачам може знадобитися допомога в налаштуванні через програмування або інші технічні аспекти.
- Обмежена підтримка. На даний момент не всі пристрої, які можуть бути підключені через HomeKit Bridge, отримують спеціалізовану підтримку, що може призводити до проблем з налаштуванням або функціонуванням.
- Залежність від сторонніх рішень. HomeKit Bridge вимагає наявності сторонніх бібліотек або прошивок, які можуть бути нестабільними або вимагати постійного оновлення.

Висновок. HomeKit Bridge – це потужний інструмент, що дозволяє

інтегрувати несертифіковані та сторонні пристрої в екосистему Apple HomeKit, надаючи можливість управління, автоматизації та налаштування, пропонуючи користувачам гнучкість і контроль над своїми розумними пристроями. В поєднанні з високим рівнем безпеки та приватності, HomeKit Bridge є відмінним вибором для користувачів Apple, які хочуть розширити свої можливості розумного дому, але можуть зіштовхнутися з деякими викликами на етапі налаштування або підтримки.

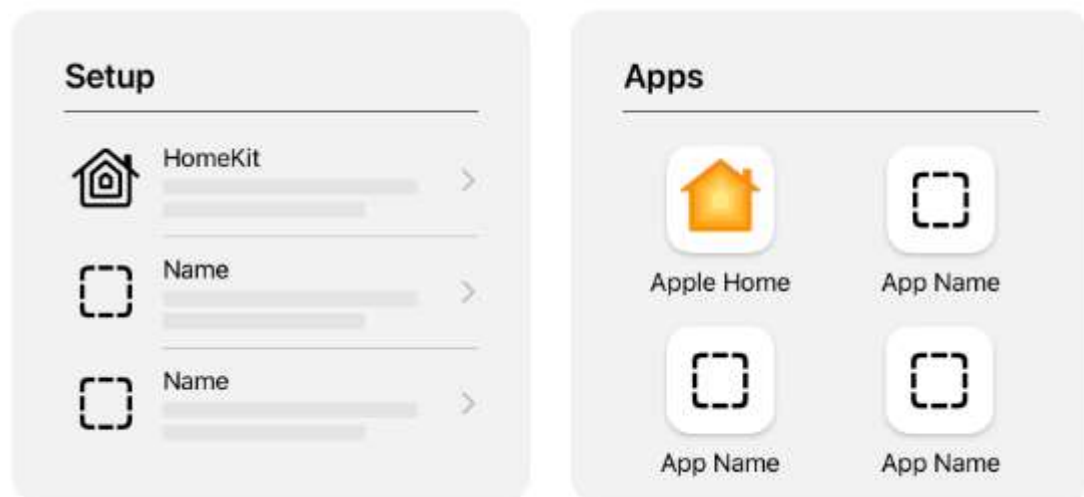


Рисунок 1.14 – Інтерфейс Apple HomeKit Bridge

1.9 Пристрої та модулі, які використовуються в Smart Home і в IoT.

У Smart Home та IoT (Internet of Things) використовується безліч пристроїв і модулів, які можна класифікувати за різними критеріями, такими як функціональність, тип підключення, призначення тощо [47, 48, 49]. Ось короткий перелік та класифікація основних категорій:

1. Пристрої за функціональністю.

1. Датчики:

- Температури та вологості;
- Датчики руху;
- Датчики смогу;
- Дверні та віконні датчики;

- Датчики затоплення;
 - Актуатори.
2. Системи освітлення;
 3. Розумні замки;
 4. Кліматичні пристрої (кондиціонери, обігрівачі);
 5. Розумні розетки та вимикачі;
 6. Штори або жалюзі;
 7. Камери та пристрої безпеки;
 8. Відеокамери спостереження;
 9. Сигналізації;
 10. Розумні дзвінки.

2. Пристрої за типом підключення.

1. Wi-Fi;
2. Bluetooth;
3. Zigbee та Z-Wave;
4. LoRaWAN;
5. NB-IoT.

3. Модулі за призначенням.

1. Системи управління:
 - Центральні контролери (хаб для Smart Home);
 - Платформи автоматизації (наприклад, Home Assistant, OpenHAB);
2. Користувацькі пристрої:
 - Розумні термостати (наприклад, Nest);
 - Розумні телевізори;
 - Пристрої для контролю енергії;
 - Розумні лічильники;
 - Пристрої для моніторингу споживання енергії.

4. Пристрої для взаємодії з користувачем.

1. Мобільні додатки;

2. Додатки для управління Smart Home;
3. Додатки для моніторингу стану пристроїв;
4. Голосові асистенти:
 - Amazon Alexa;
 - Google Assistant;
 - Siri.

5. Системи автоматизації.

Сценарії та розклади:

- Автоматизація освітлення;
- Налаштування системи безпеки за графіком;
- Інтеграції з іншими сервісами. Підключення до сторонніх сервісів (наприклад, IFTTT)

Це лише базова структура, але в кожній категорії є широкий вибір рішень та пристроїв [50, 51, 52].

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

Моделювання управління пристроями на базі IoT за допомогою мереж Петрі

В останнє десятиліття Інтернет речей (IoT) з'явився як концепція інтелектуальної, гнучкої, автономної та розподіленої системи, тоді як пристрої на основі Інтернету речей виділяються для зв'язку складових, аналізу даних і завдань, прийняття рішень. У сфері моделювання поведінки високого рівня, мережі Петрі широко застосовуються для моделювання, імітації та аналізу одночасних, дискретних подій і інформаційних систем [53, 54, 55, 56]. Крім того, дані моделі використовуються як основа для алгоритму керування роботою виконуючих, керуючих пристроїв. У даному розділі кваліфікаційної роботи документі архітектуру керування, яка використовується для інтеграції моделей у мережі Петрі високого рівня з пристроями на основі Інтернету речей.

2.1 Обґрунтування використання моделей управління за допомогою мереж Петрі

За останні роки у системах бездротового зв'язку з'явилась велика кількість об'єктів, таких як RFID, датчики, приводи та мобільні телефони, які за допомогою унікальних схем адресації, можуть взаємодіяти один з одним і співпрацювати з сусідніми «розумними» компонентами для досягнення спільної цілі. Для взаємодії з реальним світом, розумним датчиком, виконавчим пристроєм потрібно розширити можливість їх підключення до локальних мереж. Завдяки використанню інтелектуальних розподілених «об'єктів» і реалізації алгоритмів аналізу даних, кінцевий користувач може ідентифікувати об'єкти, отримувати доступ до даних у реальному часі та використовувати відповідні стратегії їх активації через Інтернет. [1, 57].

Прагнучи до інтеграції між моделями та фактичними додатками, основна ідея

залишається в тому, що в розробці програмного забезпечення її бракує, через відсутність формального чи напівформального інструменту, який об'єднує етапи його розробки. Існує кілька методологій, які намагаються інтегрувати розробку програмного забезпечення як уніфіковану мову моделювання (UML).

Крім того, у зв'язку з терміном «розумні речі», когнітивний рівень має бути інтегрований з усіма рівнями контролю від розробки до кінця його життєвого циклу. Зосереджуючись на смарт технологіях, когнітивний рівень відповідає за визначення оптимального способу виконання завдання, що гарантує безпеку та дотримується обмежень, накладених середовищем [2, 26].

Мережа Петрі [3, 41], визначена як формальна, графічна задача для визначення та аналізу динамічних систем із дискретними подіями [4, 42], традиційно застосовувана для моделювання програмного забезпечення, перевірки моделей, створення організаційних і комерційних моделей, ланцюгів поставок, гнучкості виробничих систем та дискретних систем керування, широко поширена в області моделювання дискретних та антропоморфних систем, виходячи з їх будови.

У попередніх роботах застосовувалися мережі Петрі, інтегровані з технологією RFID (Radio frequency identification), для пошукових та рятувальних робіт [5, 43] з метою оптимізації стратегій пошуку та порятунку. Ця інтеграція пропонує архітектуру управління для підключення моделей у високорівневих мережах Петрі та пристроях на базі Інтернету речей.

CPN Tools (CPN Tools – інструмент для редагування, моделювання та аналізу мереж Петрі високого рівня) [7, 44] використовується як основа для створення високорівневих моделей мереж Петрі та, відповідно, управління роботою пристроїв на базі IoT.

2.2 Аналіз відомих рішень створення і аналізу мереж Петрі високого рівня

Мережі Петрі традиційно поділяються на мережі Петрі низького рівня та мережі Петрі високого рівня [8, 45], де останні є міжнародним стандартом [9] [10].

Класифікована як мережа Петрі високого рівня, кольорова мережа Петрі (CPN) складається з графічної мови для моделювання паралельних систем і аналізу їхніх властивостей. Ця мова моделювання дискретних подій поєднує в собі можливості мереж Петрі з можливостями мови програмування високого рівня. Мова CPN ML, заснована на функціональному стандарті ML [11], надає примітиви для визначення типів даних, для опису обробки даних та для створення компактних і параметризованих моделей. [8, 51]

Докладено певних зусиль щодо інтеграції високо- та низькорівневого контролю пристроїв на базі IoT. У виробничих середовищах активні та пасивні об'єкти на основі RFID були формально змодельовані, зосереджуючись на комунікаціях та автоматизованих завданнях [12, 46], кольорові мережі Петрі на основі RFID застосовувалися для моніторингу якості [13, 25] та для розробки контролерів гнучкої виробничої системи [14, 26], програмування управляючих ПЛК [15]. У технологія Smart Home підхід до моделювання та оптимізації, заснований на мережах Петрі оцінений за допомогою симуляційних результатів [16], крім цього метод, заснований на мережах Петрі, названий планами мережі Петрі (PNP) [17], використовувався для взаємодії між імітованими пристроям Smart Home [18]. Нарешті, стохастичні мережі Петрі були використані для моделювання аварійно-рятувальних логістичних систем [19, 51] і робочих процесів [20, 46].

2.3 Принципи моделювання Smart Home за допомогою CNP

Запропоновано використати мережі Петрі як інструмент для

визначення моделі поведінки, але з транскрипцією логіки текстовою мовою програмування, що застосовується в мікроконтролерах. З міркувань застосовності, запропонована архітектура керування була розроблена, щоб дозволити управляти поведінкою об'єктами Smart Home без необхідності їх абстрагування текстовою мовою, але створюючи спосіб інтеграції управління високого та низького рівня. Це стало можливим завдяки використанню інструментів CPN, пов'язаних із комунікаційною бібліотекою COMMS/CPN [21], яка забезпечує зв'язок між моделями мереж Петрі високого рівня та зовнішніми програмами та процесами через протокол TCP/IP.

Автоматизовані системи об'єднують об'єкти декількох технологій, таких як механіка, електрика, електроніка, інформатика та зв'язок. Ця інтеграція технологій добре представлена за допомогою піраміди автоматизації [22, 41, 42]. Незважаючи на те, що в піраміді є п'ять рівнів, лише перших трьох (виконуючі пристрої, пристрої управління та контролю та збору даних (SCADA)) достатньо для керування та моніторингу будь-якого автоматизованого пристрою. На рис. 2.1 показано, як кожен модуль пропонуваної архітектури керування відноситься до перших трьох рівнів піраміди автоматизації.

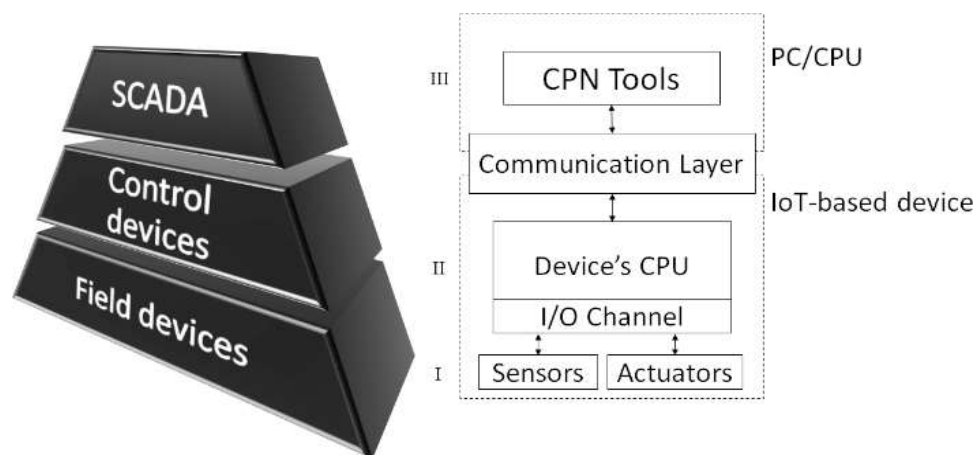


Рисунок 2.1 – Зв'язок між запропонованою архітектурою керування та рівнями піраміди автоматизації.

Зв'язок між пристроями на базі IoT і CPN Tools здійснювався через

бездротову мережу за допомогою протоколу TCP/IP. На рис. 2.2 показано схематичне зображення запропонованої архітектури. Поведінка високого рівня реалізована в CPN Tools, де користувач також може спостерігати та керувати поведінкою пристрою на основі IoT, а логіка керування низького рівня записується через Arduino IDE.

2.4 Реалізація моделі на базі CPN Tools

Запропонований підхід було оцінено за допомогою пристрою на основі Інтернету речей у сценарії пристрою Smart Home. У нього вбудована плата розробки з 32-розрядним мікроконтролером на основі архітектури ARM Cortex-M3, яку можна додавати як нове обладнання в налаштування Arduino IDE і безпосередньо програмувати його за її допомогою. Розглянемо реалізацію на базі інструментів CPN Tools і Arduino IDE.

Верхньорівневу частину програми передали в CPN Tools, з бібліотекою COMMS/CPN для зовнішнього зв'язку. Основні функції, які дозволяють інструментам CPN працювати як сервер TCP/IP, такі:

- acceptConnection (рядок “connId”, int portNumber);
- відправити (рядок “connId”, Word8Vector.vector encodeFunction);
- отримати (рядок “connId”, Word8Vector.vector decodeFunction)
- closeConnection (рядок «connId»)

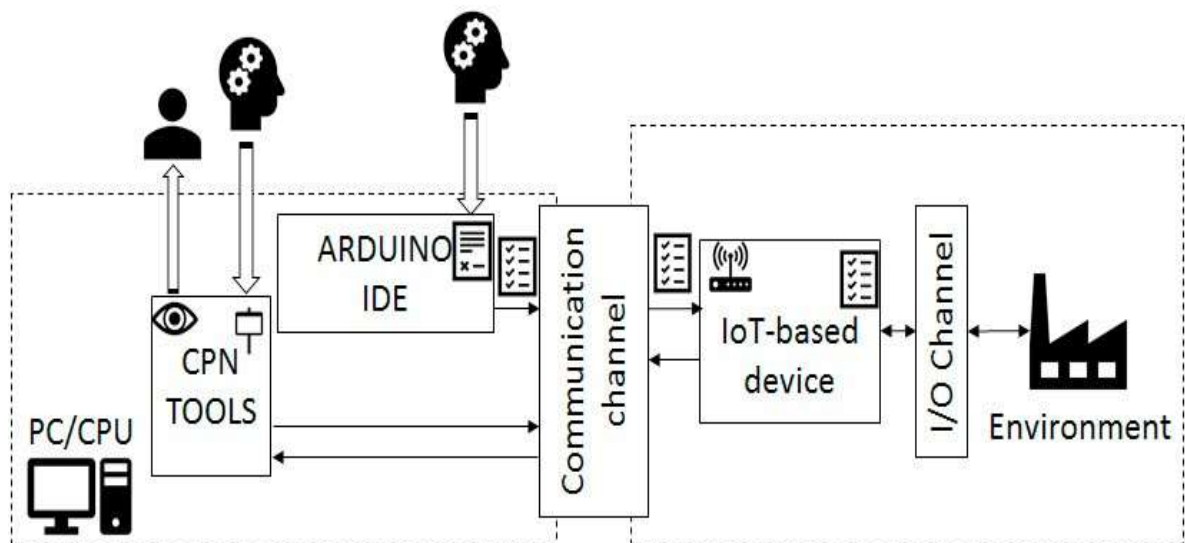


Рисунок 2.2 – Ілюстративна схема запропонованого режиму об'єкту

Smart Home.

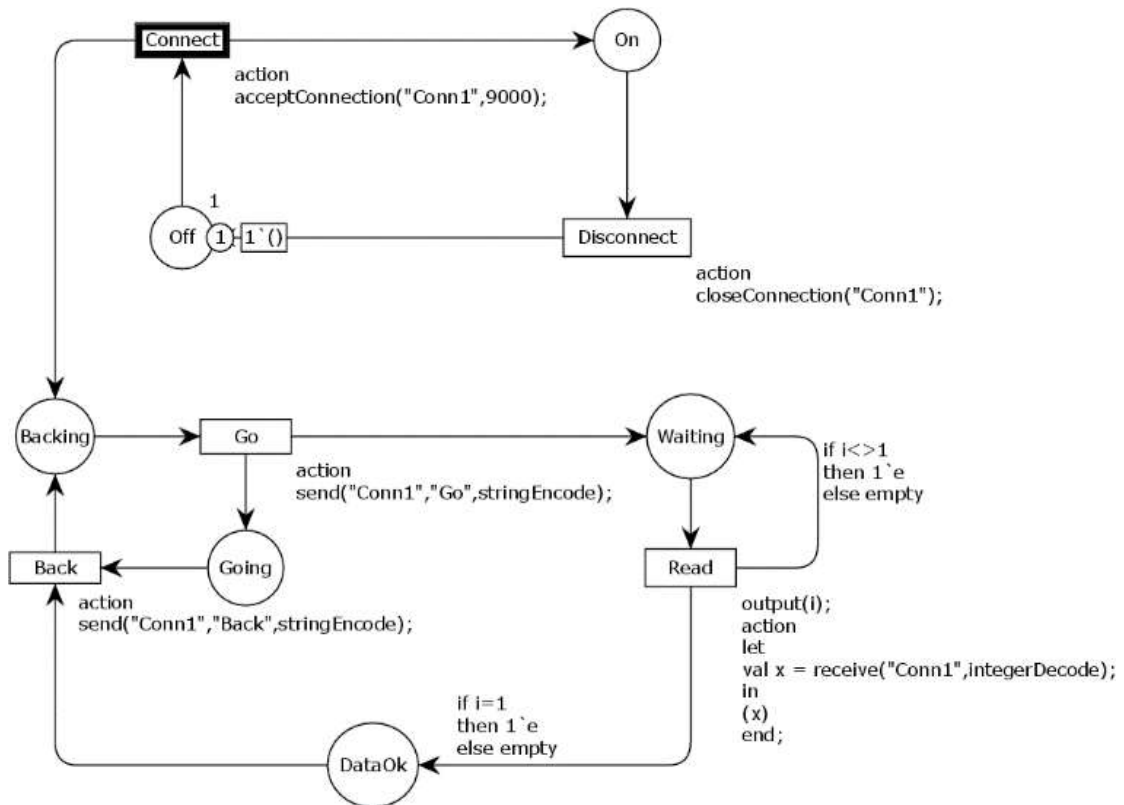


Рисунок 2.3 – Приклад мережі Петрі з використанням функцій COMMS/CPN.

Рис. 2.3 ілюструє приклад використання функцій COMMS/CPN у CPN Tools. Спочатку через маркер на місці «OFF» включений перехід «ON». Запуск переходу «Connect» викликає виклик функції `acceptConnection("Conn1",9000)`, яка задає CPN Tools роль сервера, очікуючи клієнта TCP на порту 9000, коли зовнішній клієнт запитує з'єднання через порт «Conn1». Ініціювання переходу завершується, що призводить до видалення маркера з місця «OFF», а інші вставляються в положення «ON» та «Підтримка». З цього моменту будуть активовані переходи «GO» і «OFF». Коли запускається перехід "GO", CPN Tools викликає функцію `send("Conn1","Go",stringEncode)`, кодуючи та надсилаючи рядок "Go" зовнішньому процесу через з'єднання "Conn1". Це видаляє запит із місця «BACKING», а нові вставляються в точки «GO» та «WAITING». З цього моменту будуть включені переходи «READ» і «OFF». Коли запускається перехід "Read", CPN Tools виконує функцію `receive("Conn1",integerDecode)`,

декодує дані, доступні в буфері "Conn1", і перетворює їх у значення INT. У цей момент отримане значення порівнюється з очікуваним. Якщо порівняння вдале, це токен видалено з точки «WAITING», а інший надсилається на «DataOk». Якщо прочитане значення не відповідає очікуваному значенню, маркер видаляється, а інший вставляється на місце «WAITING». При наявності токенів на місцях «GO» і «DataOk» включений перехід «BACK». Запускаючи перехід "BACK", CPN Tools викликає функцію `send("Conn1","Back",stringEncode)`, кодує та надсилає рядок "BACK" зовнішньому процесу через "Conn1". Це видаляє маркер із місць «GO» та «DataOk» і вставляє інший у місце «Захист». У будь-який час, коли спрацьовує перехід «Disconnect», функція `closeConnection(«Conn1»)` закриває «Conn1» і припинить зв'язок із будь-яким зовнішнім процесом за допомогою порту 9000. Це видаляє маркер із місця «On» і вставляє інший на місці "Off".

На рис. 2.3 показано, що головна мережа Петрі складається лише з двох місць («Backing» і «Going») і двох переходів («Go» і «Back»). Існують елементи з'єднання та зв'язку, необхідні для того, щоб основна мережа Петрі була виконуваною у зовнішніх процесах і контролювала поведінку пристроїв на основі Інтернету речей. Перехід «GO» надсилає команду та очікує повернення, наприклад, сигналу датчика наближення або очікуваної мітки RFID. Перехід «Back», у свою чергу, лише надсилає, а не очікує на інформацію датчика, яка може бути пов'язана з часовою подією (наприклад, повернутися на t секунд). Незважаючи на те, що додавання елементів зв'язку збільшує складність і обґрунтованість моделі, за допомогою переходів заміни [7, 36] її можна покращити.

2.5 Модель пристрою на базі IoT

STM32 працює з 32-розрядним мікроконтролером на основі архітектури ARM Cortex-M3. Після налаштування можна розробляти

програми в Arduino IDE і надсилати їх через порт USB на плату STM32 BluePill. Підключення до інших процесів, наприклад CPN Tools, можливе через модулі бездротового зв'язку, такі як ESP8266 MCU. Таким чином, пристрій на основі IoT запрограмовано як TCP/IP-клієнт, який надсилає та отримує повідомлення на сервер CPN Tools і з нього.

Для експериментального аналізу було розроблено мобільний пристрій, оснащений приводами, NFC-зчитувачем, модулем бездротового зв'язку та джерелом живлення. RFID-мітки, розкидані по навколишньому середовищу, використовувалися для запуску поведінки пристрою. На рис. 2.4 показано схематичне зображення мобільного пристрою на базі IoT, де суцільні лінії позначають потужність, а пунктирні — інформацію про дані.

Зосереджуючись на низькорівневому контролі, Arduino IDE було використано для реалізації алгоритму, здатного керувати рухом пристрою відповідно до поведінки, передбаченої поведінковою моделлю в CPN Tools, і, отже, відповідно до повідомлень, якими обмінюються клієнтський пристрій і сервер CPN.

На рис. 2.5 показаний спрощений алгоритм, застосований до мікроконтролера пристрою на базі IoT. Спочатку пристрій намагається підключитися до сервера CPN і повторює запит n разів, перш ніж залишити завдання. Після підключення пристрій на основі IoT чекає команди від сервера. Отримавши повідомлення «GO», алгоритм змушує пристрій рухатись вперед. При отриманні повідомлення «Back» активується режим руху назад. Під час руху вперед пристрій на основі Інтернету речей перевіряє, чи було досягнуто певне місце з RFID-мічкою, і після досягнення мобільний пристрій чекає на нову команду. Перевірка датчика не виконується, коли пристрій перебуває в режимі руху назад.

Щоб перевірити сценарій «повернення», клієнт (пристрій на основі IoT) і сервер (ПК із встановленими інструментами CPN) повинні бути налаштовані в доступній мережі WiFi, де конфігурація пристрою

відбувається за допомогою АТ-команд [23, 34].

Для цього тесту припускалися лінійні траєкторії вперед і назад, і пристрій (встановлений із зчитувальним датчиком NFC у його основі) може сприймати RFID-мітки на своїй траєкторії. Спрощена діаграма послідовності між CPN Tools і пристроєм на базі IoT показана на рис. 2.6.

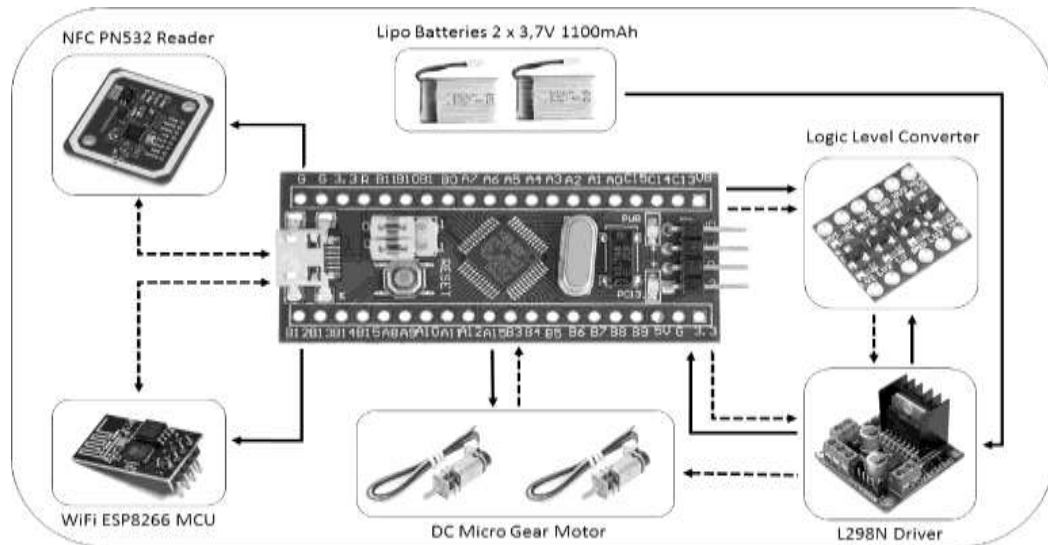


Рисунок 2.4 – Схематичне зображення мобільного пристрою на основі IoT.

Суцільні лінії позначають живлення, а пунктирні — інформацію про дані.

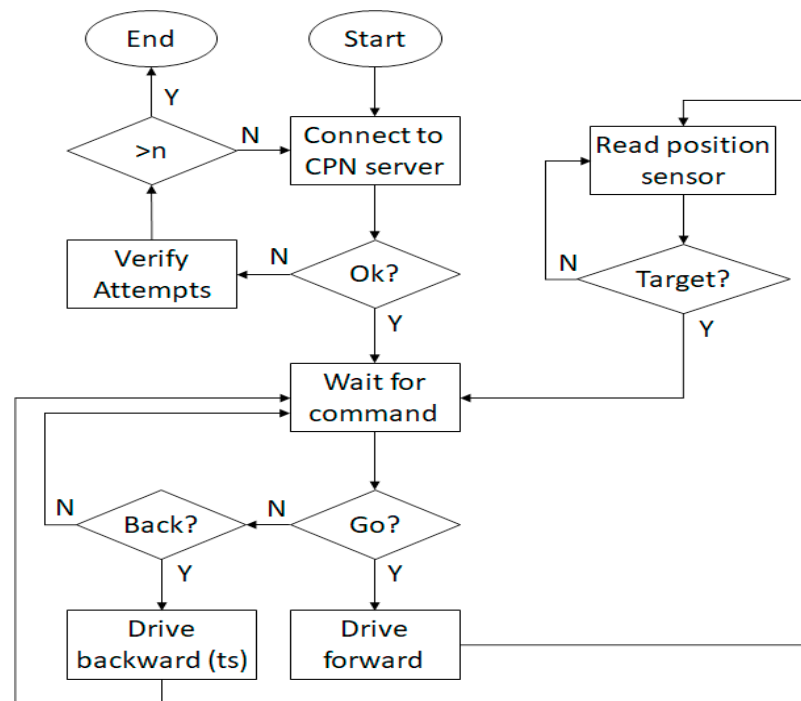


Рисунок 2.5 – Спрощений алгоритм роботи для мікроконтролера

пристрою на базі IoT

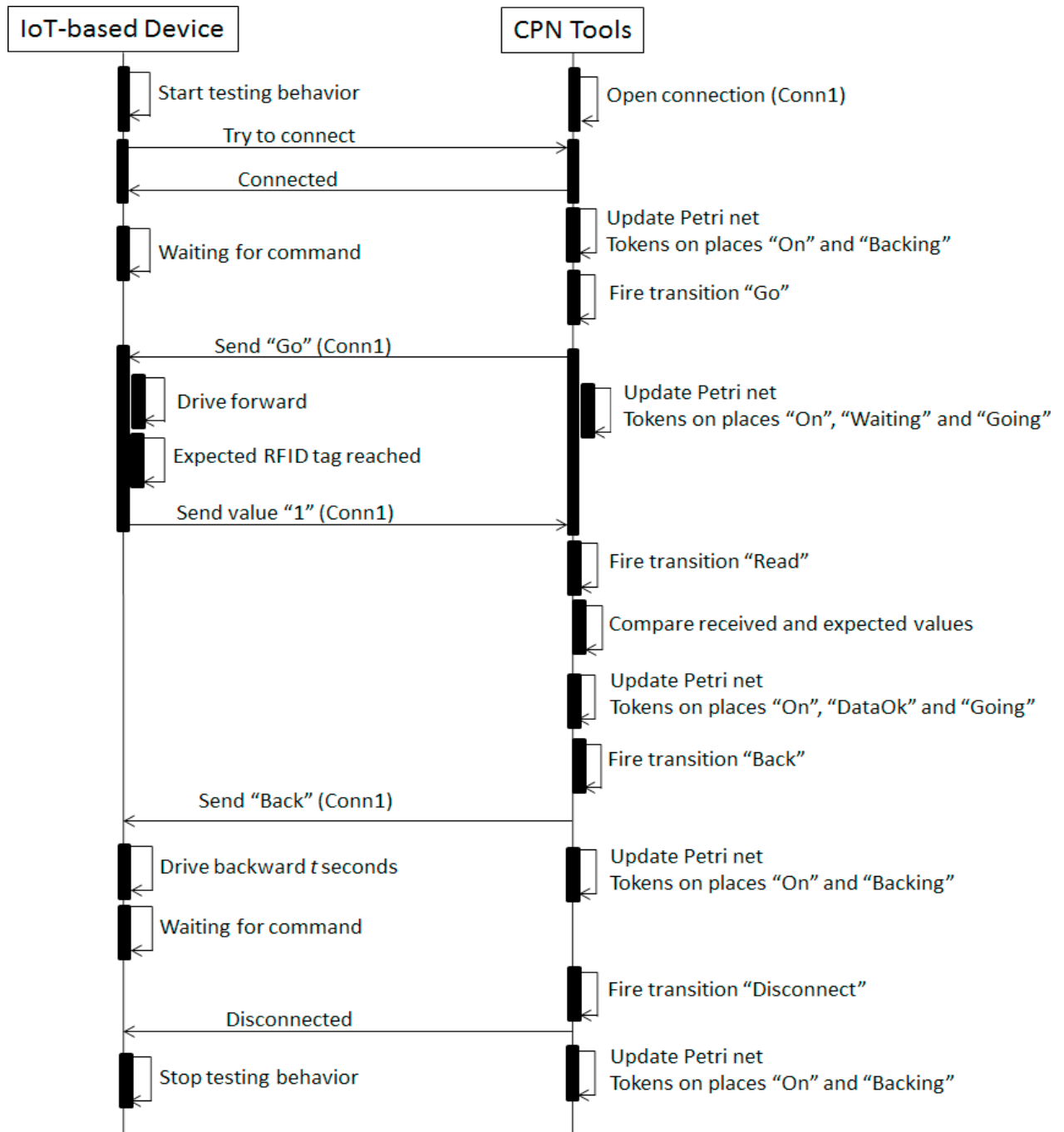


Рисунок 2.6 – Спрощена діаграма послідовності для сценарію тестування .

2.6 Результати моделювання за допомогою CNP

Представлений процес моделювання, контролю та управління мобільним пристроєм на основі Інтернету речей через мережу Петрі високого рівня. Дослідження, які розглядають мережі Петрі як поведінкові моделі для

систем на основі Інтернету речей, збігаються з високорівневими представленнями для рівня додатків, управління та контролю об'єктів, будь то в реальному чи змодельованому середовищі. Однак експериментальні дослідження не розкривають в повній мірі високорівневі моделі поведінки агентів за допомогою структурованих і стандартизованих мов, таких як високорівневі мережі Петрі.

Крім запропонованої архітектури керування, продемонстрована процедура застосування поведінкових дій для високорівневих моделей мережі Петрі в управлінні виконуючими пристроями на основі IoT.

Запропонована архітектура може бути застосована в інших пристроях на базі IoT, у тому числі промислових IoT. Будь-який пристрій на базі STM32 «BluePill» і WiFi ESP MCU, легко інтегрується з високорівневими мережами Петрі на CPN Tools, тоді як пристрої, побудовані на інших мікроконтролерах та модулях WiFi, потребують певної адаптації.

В подальшому слід удосконалити логіку моделювання та програмування для забезпечення синхронних операцій та дослідження обмежень у реальному часі для запропонованої архітектури керування.

Бажано провести аналіз іншого RFID обладнання, для рішень в інших додатках та протоколах бездротового зв'язку, здатних працювати в польових умовах, таких як xBee, LoRA, і виконувати впровадження з використанням підходу під назвою інвертована мережа Петрі в базі даних RFID (iPNRD).

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Технології, які застосовуються в Smart Home та IoT

Технології, які застосовуються в Smart Home (розумному будинку) та IoT (Інтернет речей), охоплюють широкий спектр апаратного забезпечення, програмного забезпечення, комунікаційних протоколів та інтеграційних платформ. Ось детальний опис основних технологій:

1. Апаратне забезпечення

Сенсори та датчики:

- Датчики температури (для термостатів);
- Датчики руху (для безпеки або автоматизації освітлення);
- Датчики вологості (для управління кліматом або моніторингу витоків);
- Датчики освітлення (для адаптації рівня освітлення);
- Датчики диму та газу (для безпеки);
- Актуатори;
- Розумні лампи (Smart Bulbs);
- Розумні розетки (Smart Plugs);
- Електронні замки (Smart Locks);
- Моторизовані штори або жалюзі;
- Системи поливу (Smart Irrigation);
- Контролери;
- Центри управління (наприклад, Google Nest, Amazon Echo, Samsung SmartThings);
- Розумні термостати (Nest, Ecobee);
- Камери та системи моніторингу;
- Розумні дверні дзвінки (наприклад, Ring);
- Відеокамери з AI-аналізом;

2. Програмне забезпечення

Операційні системи:

- IoT Core (Windows IoT, Android Things);
 - Amazon AWS IoT, Google Cloud IoT, Microsoft Azure IoT;
 - Спеціалізовані ОС для мікроконтролерів (FreeRTOS, Zephyr);
- Операційні системи та спеціальне програмне забезпечення виконують

наступні функції:

- Штучний інтелект (AI) та машинне навчання;
- Автоматизація через сценарії (IFTTT, Apple HomeKit);
- Розпізнавання голосу (Amazon Alexa, Google Assistant);
- Аналіз поведінкових патернів користувача;
- Візуальний аналіз відео (розпізнавання осіб, об'єктів);
- Хмарні платформи;
- Зберігання даних, обробка та аналітика;
- Мобільні додатки;
- Контроль пристроїв через смартфони;

3. Комунікаційні протоколи:

Бездротові протоколи:

- Wi-Fi: Широкодоступний, використовується для більшості пристроїв;
- Bluetooth: Низька потужність для локальних пристроїв;
- Zigbee: Низькоенергетичний протокол для домашніх мереж;
- Z-Wave: Спеціалізований для домашньої автоматизації;
- Thread: Новітній протокол для стабільності та сумісності;

Дротові протоколи:

- Ethernet (для стабільності);
- Powerline Communication (PLC) — передача даних через електромережу;

Інтернет-протоколи:

- MQTT: Легкий протокол для обміну повідомленнями;
- CoAP: Протокол для обмежених пристроїв;
- HTTP/HTTPS: Для управління та API-запитів;

4. Хмарні технології та обчислення

Хмарні обчислення забезпечують:

- Моніторинг в реальному часі;
- Оновлення прошивки «по повітрю» (OTA);
- Аналітика даних та створення сценаріїв;
- Граничні обчислення (Edge Computing). Зменшують затримку, дозволяючи обробку даних на місцевому рівні.

5. Інтеграційні платформи

- IFTTT (If This Then That). Автоматизація між різними сервісами;
- Apple HomeKit: Інтеграція Apple-пристроїв;
- Google Home та Amazon Alexa: Голосове керування та інтеграція з багатьма пристроями;
- SmartThings: Багатофункціональна екосистема для управління різними пристроями.

6. Безпека

- Шифрування даних (TLS, AES);
- Багатофакторна аутентифікація;
- Регулярні оновлення прошивки для усунення вразливостей;
- Резервні копії та безпечні з'єднання.

7. Енергозбереження

- Розумні термостати автоматизують управління опаленням і кондиціонуванням.
- Пристрої з режимом низького енергоспоживання.
- Моніторинг енергоспоживання за допомогою IoT-систем.

8. Інтеграція зі штучним інтелектом

- Голосові асистенти (Alexa, Siri, Google Assistant);
- Машинне навчання для адаптації до звичок користувача;
- Автономні системи прийняття рішень (наприклад, робот-пилосос).

Висновок. Технології для Smart Home та IoT з кожним роком стають

більш інтегрованими, адаптивними та орієнтованими на потреби користувача. Їхній розвиток спрямований на підвищення комфорту, безпеки, енергоефективності та автоматизації повсякденного життя.

3.2 Бездротові технології зв'язку в системах Smart Home.

У системах Smart Home використовуються різноманітні бездротові технології зв'язку, які забезпечують передачу даних між пристроями, сенсорами, актуаторами та хабами. Вибір технології залежить від вимог до швидкості, енергоспоживання, дальності та сумісності. Нижче розглянемо найпопулярніші бездротові технології зв'язку.

1. Wi-Fi.

Технологія бездротового зв'язку для високошвидкісного обміну даними через локальну мережу.

Переваги:

- Висока швидкість передачі даних (до 9.6 Гбіт/с у Wi-Fi 6).
- Сумісність із більшістю сучасних пристроїв.
- Можливість прямого підключення до Інтернету.

Недоліки:

- Високе енергоспоживання (не підходить для батарейних пристроїв).
- Перевантаження мережі при великій кількості пристроїв.

Застосування. Відеокамери, розумні телевізори, голосові асистенти, пристрої високого трафіку.

2. Bluetooth

Бездротова технологія короткого радіусу дії, популярна для прямого зв'язку між пристроями.

Переваги:

- Низьке енергоспоживання (особливо у версії Bluetooth Low Energy, BLE).

- Просте налаштування.

Недоліки:

- Обмежена дальність зв'язку (до 100 метрів у BLE).
- Менша пропускна здатність у порівнянні з Wi-Fi.

Застосування. Розумні дверні замки, переносні пристрої, контролери освітлення.

3. Zigbee.

Енергоефективний протокол бездротового зв'язку для створення мережі пристроїв з малим обсягом даних.

Переваги:

- Низьке енергоспоживання.
- Підтримка мережевої топології mesh (збільшує дальність і надійність).
- Працює на частоті 2.4 ГГц.

Недоліки:

- Потребує хабу для інтеграції з іншими пристроями.
- Потенційні перешкоди через інші пристрої на частоті 2.4 ГГц.

Застосування. Сенсори, розумні лампи, системи безпеки.

4. Z-Wave.

Спеціалізований протокол для розумного будинку, що працює на частотах нижче 1 ГГц.

Переваги:

- Низьке енергоспоживання.
- Менше перешкод, ніж у Zigbee (частота 908.42 МГц).
- Підтримує до 232 пристроїв у мережі.

Недоліки:

- Нижча швидкість передачі даних.
- Висока вартість у порівнянні з іншими протоколами.

Застосування. Розумні розетки, датчики руху, системи клімат-

контролю.

5. Thread.

Новітній протокол, що забезпечує низьке енергоспоживання та високу масштабованість.

Переваги:

- Топологія mesh для надійного зв'язку.
- Прямий доступ до Інтернету без необхідності у хабі.
- Безпечний протокол з шифруванням.

Недоліки:

- Менш поширений, ніж Zigbee або Z-Wave.

Застосування. Сенсори, пристрої з малим обсягом даних.

6. RF (Радіочастотний зв'язок)

Простий бездротовий зв'язок на частотах 433 МГц або 868 МГц.

Переваги:

- Дешевий у реалізації.
- Велика дальність зв'язку (до 100 метрів).

Недоліки:

- Низький рівень безпеки.
- Обмежена пропускна здатність.

Застосування. Дистанційне керування, датчики простих систем.

7. Cellular (Мобільний зв'язок: 3G, 4G, 5G).

Використовується для пристроїв з прямим доступом до Інтернету через мобільні мережі.

Переваги:

- Доступ до Інтернету будь-де з покриттям.
- Підходить для пристроїв із великим обсягом даних.

Недоліки:

- Високе енергоспоживання.
- Залежність від операторів мобільного зв'язку.

Застосування. Відеокамери, системи моніторингу віддалених об'єктів.

8. LoRa (Long Range).

Технологія для передачі даних на великі відстані з низьким енергоспоживанням.

Переваги:

- Дальність зв'язку до 15 км.
- Економія енергії.

Недоліки:

- Низька швидкість передачі даних.
- Потребує шлюзу для зв'язку з Інтернетом.

Застосування. Сенсори для моніторингу (погода, витoki води).

9. NFC (Near Field Communication).

Технологія для передачі даних на дуже короткі відстані (до 10 см).

Переваги:

- Моментальне підключення.
- Висока безпека передачі даних.

Недоліки:

- Дуже короткий радіус дії.

Застосування. Смарт-замки, авторизація користувачів.

Бездротові технології у Smart Home забезпечують широкий спектр можливостей. Для локальних пристроїв використовуються Zigbee, Z-Wave та Thread, а для пристроїв із високим обсягом даних — Wi-Fi чи Cellular. Вибір залежить від потреб користувача, енергоспоживання, дальності зв'язку та типу пристроїв у системі.

Таблиця 3.1 – Порівняння бездротових протоколів

Технологія	Дальність	Енергоспоживання	Швидкість	Топологія
Wi-Fi	~50 м	Високе	Висока	Зірка
Bluetooth	~100 м (BLE)	Низьке	Низька	Зірка
Zigbee	~10-20 м	Низьке	Середня	Mesh
Z-Wave	~30 м	Низьке	Низька	Mesh
Thread	~10-20 м	Низьке	Середня	Mesh
RF	~100 м	Низьке	Низька	Зірка
Cellular	Велика	Високе	Висока	Зірка
LoRa	~15 км	Низьке	Низька	Зірка

3.3 Приклади застосування технологій IoT та Smart Home у різних галузях

3.3.1 Розумні міста, приклади IoT для покращення міських центрів.

У великих містах додатки IoT формують більш ефективну інфраструктуру для жителів і влади. Це зменшує вплив вихлопних газів на навколишнє середовище, марну витрату ресурсів і будь-які затори на дорогах, спричинені надмірним рухом.

Розумна утилізація сміття. Датчики в контейнерах для сміття реєструють рівень заповнення й автоматично повідомляють, коли їх потрібно спорожнити. Це зменшує непотрібні поїздки та сприяє ефективному використанню ресурсів.

Інтелектуальне освітлення. Технологія IoT у вуличних ліхтарях визначає навколишнє освітлення та присутність людей, дозволяючи автоматично налаштовувати освітлення та економити енергію без шкоди для безпеки.

Інтелектуальне керування дорожнім рухом. Датчики та камери відстежують рух транспорту в реальному часі. На основі цих даних

світлофори динамічно налаштовуються, щоб мінімізувати затори та зменшити викиди.

Розумне паркування. Датчики на паркувальних місцях виявляють вільні та зайняті місця, перш ніж передавати інформацію водіям, які прибувають, у режимі реального часу. Це скорочує час пошуку місця для паркування та розвантажує міські дороги від транспорту.

Ці приклади додатків IoT покращують повсякденне життя громадян і зменшують навантаження на державні органи, допомагаючи міським центрам, таким як великі міста, стати більш зручними для життя та стабільними.

3.3.2 Розумний дім, програми IoT для більшої зручності вдома

За допомогою підключених пристроїв мешканці можуть керувати декількома пристроями вдома за допомогою смартфонів або голосових помічників. Таким чином, технології розумного будинку підвищують зручність і безпеку в приватних домогосподарствах.

Інтелектуальне освітлення. Лампи автоматично підлаштовуються під час доби або присутність людей.

Розумні термостати. На основі звичок мешканців термостати автоматично регулюють роботу систем опалення чи кондиціонування.

Автономні системи безпеки. Камери спостереження надсилають повідомлення на підключений смартфон у разі незвичайної активності, а цифрові дверні замки дозволяють отримати доступ без ключа.

Сучасні додатки IoT для розумних будинків підключають різні пристрої, щоб полегшити життя. Інтелектуальні лампи та термостати сприяють енергоефективності та економії коштів, а розумні системи безпеки роблять будинки та квартири безпечнішими.

3.3.3 Розумне управління енергією за допомогою пристроїв IoT

В енергетичному секторі приклади застосування Інтернету речей, такі як інтелектуальні мережі та інтелектуальне вимірювання, сприяють

екологічно чистим і сталим практикам електроенергетики. Це допоможе джерелу живлення стати більш екологічно чистим і ефективним у майбутньому.

Розумні електромережі – це інтелектуальні електромережі, які відстежують і контролюють потік енергії в реальному часі. Вони ефективно регулюють попит на електроенергію в різний час, виявляють потенційні збої в електроенергії та оптимізують розподіл енергії. Крім того, електроенергія зі стійких джерел енергії краще інтегрована та придатна для використання. Таким чином, мережі підвищують загальну надійність електропостачання.

Інтелектуальне вимірювання використовує інтелектуальні лічильники електроенергії для точного вимірювання споживання енергії в домогосподарствах і на підприємствах, одночасно передаючи дані постачальникам електроенергії в режимі реального часу. Це дає споживачам і постачальникам енергії детальну інформацію про поточне та минуле споживання енергії.

Обидва приклади IoT забезпечують більш ефективний розподіл та використання енергії. Це економить ресурси, робить споживання енергії більш прозорим і сприяє сталому використанню електроенергії.

3.3.4 Сучасні пристрої IoT для інтелектуального управління будівлею

Програми IoT дозволяють інтелектуально керувати будівлями комерційних об'єктів за допомогою інтелектуальних датчиків і пристроїв, які записують використання та контроль приміщення, а також контролюють освітлення, вентиляцію та інші системи в будівлі та навколо неї.

Клімат-контроль. Підключені до Інтернету термостати автоматично регулюють температуру в приміщенні залежно від звичок людей і поточних погодних умов. Це економить енергію та забезпечує приємне робоче середовище.

Моніторинг безпеки. Інтелектуальні системи безпеки контролюють входи, вікна та рухи в будівлі. Вони сповіщають мешканців, співробітників і

служби безпеки у разі злому чи іншої загрози.

Офісні будівлі, аеропорти чи торгові центри – інтелектуальні програми управління будівлями покращують енергоефективність будівель, а також безпеку та комфорт працівників і приватних осіб.

3.3.5 Приклади застосування IoT в транспортному секторі

Програми Інтернету речей у транспортній галузі підтримують, зокрема, автономне водіння та керування автопарком. Робота, яка потребує багато часу, і водіння автоматизовані, що означає, що робоче навантаження зменшується.

Автономне водіння. Підключені транспортні засоби постійно збирають і обмінюються даними про своє оточення. У майбутньому транспортні засоби зможуть розпізнавати перешкоди, інтерпретувати сигнали світлофора та реагувати на зміни в русі в реальному часі.

Управління автопарком. Датчики в транспортних засобах записують такі дані, як місцезнаходження, швидкість і витрата палива, а потім ця інформація надсилається на центральну платформу Інтернету речей у режимі реального часу для оцінки. Оператори автопарку можуть використовувати цю інформацію для оптимізації маршрутів і графіків технічного обслуговування, що призведе до економії коштів і кращого використання автопарку.

Інтеграція пристроїв IoT робить транспортні програми ефективнішими та безпечнішими для споживачів і компаній. Таким чином, адміністративне навантаження на управління автопарком мінімізується, а автономні транспортні засоби можуть підтримувати водіїв.

Розумні ланцюжки поставок. Більше прозорості та контролю через Інтернет речей. Наступні приклади застосування IoT в управлінні ланцюгом поставок (SCM) покращують спосіб зберігання та транспортування товарів. Управління ланцюгом постачання описує структуру та управління всім процесом створення вартості від видобутку сировини до доставки.

Управління складом. Датчики та пристрої IoT підтримують точне управління складом. Вони в режимі реального часу фіксують інвентаризацію продукції та поточне місцезнаходження товарів, а також умови зберігання. Компанії можуть отримати повний огляд своїх складів, ефективніше керувати рівнем запасів і уникнути вузьких місць у процесі створення вартості.

Відстеження товарів. GPS-трекери контролюють місцезнаходження та стан товарів під час транспортування. Таким чином, компанії можуть у режимі реального часу реагувати на затримки чи інші проблеми, якщо це необхідно, і коригувати ланцюг поставок. Одним із прикладів є продукти, критичні до температури, такі як їжа чи ліки. Щойно температура змінюється, автоматично надсилається сповіщення, що дозволяє відповідальній особі вжити негайних заходів до того, як товар буде пошкоджено.

Інтеграція додатків Інтернету речей у транспортні технології ланцюгів поставок підвищує ефективність процесів доданої вартості в компаніях і задоволеність клієнтів, одночасно знижуючи витрати. Ланцюги поставок також можуть стати більш стійкими та швидше адаптуватися до тенденцій і змін ринку.

3.3.6 Індустрія 4.0, приклади IoT у виробництві

У промисловому виробництві Інтернет речей з'єднує машини, датчики та системи один з одним. Вони обмінюються даними в режимі реального часу, а потім відповідно оптимізують свої процеси. Всю цю сферу називають Індустрією 4.0, одним із найвідоміших прикладів якої є прогнозне обслуговування.

Прогнозне технічне обслуговування: датчики постійно контролюють стан машин і записують такі дані, як температура, вібрація та години роботи. Компанії потім використовують ці дані, щоб передбачити несправність машин, тобто технічне обслуговування можна проводити саме тоді, коли це

необхідно. Це мінімізує незаплановані простої та продовжує термін служби машин.

Сфера застосування IoT Industry 4.0 сприяє ефективним і гнучким виробничим процесам, які знижують витрати, підвищують доступність систем і забезпечують безперебійне виробництво. Тому Інтернет речей значно підвищує конкурентоспроможність промислових компаній.

3.3.7 Розумне сільське господарство за допомогою IoT

Інтернет речей також оцифровує сільське господарство, розробку називають Agriculture 4.0. Зростаюча екологічна обізнаність, екстремальні погодні умови та скорочення ресурсів посилили потребу в сталому управлінні, у якому додатки IoT можуть допомогти з відстеженням, забезпеченням якості та контролем усіх об'єктів і територій.

Розумне землеробство. Датчики IoT збирають дані про вологість ґрунту, температуру та рівні поживних речовин. Потім фермери відповідно коригують використання води, добрив і пестицидів, таким чином економлячи ресурси та підвищуючи продуктивність.

Автономні сільгоспмашини. Системи Інтернету речей контролюють і контролюють трактори, комбайни, польові роботи або системи годування. Це зменшує фізичну працю та підвищує ефективність роботи.

У сільському господарстві ці приклади застосування Інтернету речей забезпечують більш стійке та продуктивне землеробство, оскільки фермери можуть використовувати свої ресурси ефективніше, підвищувати врожайність і водночас захищати навколишнє середовище.

3.3.8 Shutterstock 2, Інтернет речей у роздрібній торгівлі.

За допомогою різних пристроїв Інтернету речей роздрібні торговці оптимізують взаємодію з клієнтами в магазині та автоматизують логістику між складами та магазинами. Покупці отримують задоволення від покупок, тоді як роздрібні торговці швидше реагують на вимоги своєї клієнтської бази.

Розумні касові системи. Підключені касові пристрої забезпечують

швидший процес оплати без збоїв. Таким чином, клієнти виграють від скорочення часу очікування та ефективної покупки.

Персоналізовані пропозиції. Так звані розумні полиці аналізують поведінку клієнтів у магазині та надсилають цільові пропозиції безпосередньо на їхні смартфони. Персоналізовані рекомендації підвищують задоволеність клієнтів і збільшують продажі.

Автоматизоване управління запасами. Розумні полиці постійно відстежують рівень запасів і автоматично запускають замовлення в разі нестачі товару, що забезпечує достатній рівень запасів і зменшує дефіцит.

Ці приклади застосування IoT роблять закупівлі та логістичні процеси ефективнішими, покращують загальний досвід покупок для клієнтів та умови праці для співробітників. Це, у свою чергу, призводить до високого рівня задоволеності клієнтів і зміцнює конкурентоспроможність роздрібних торговців.

3.3.9 Сприяння захисту навколишнього середовища через програми IoT

У моніторингу навколишнього середовища підключені системи Інтернету речей постійно збирають дані про якість повітря, водні ресурси, стан ґрунту та погодні дані з різних середовищ існування. Ці програми IoT допомагають посилити захист навколишнього середовища та краще керувати ризиками, пов'язаними з повеннями чи землетрусами.

Якість повітря. У містах пристрої IoT вимірюють концентрацію забруднюючих речовин у повітрі та надають екологічним органам дані в реальному часі, які швидко ініціюють заходи для покращення якості повітря.

Водні ресурси. Датчики в річках і озерах реєструють запаси води та риби, а також рівень забруднення. Екологічні проблеми виявляються на ранній стадії, а такі катастрофи, як повені, уникаються.

За допомогою додатків IoT уряди, місцеві органи влади та організації можуть швидко реагувати на зміни навколишнього середовища. Крім того, компанії можуть обмежити свій вуглецевий слід, дотримуватися екологічних

норм і адаптувати своє бізнес-планування до погодних умов.

Технології додатків IoT та Smart Home є запорукою для сталого та зручнішого майбутнього. Інтернет речей уже змінює численні підприємства та повсякденне життя – від міст до сільського господарства та охорони здоров'я. Представлені приклади IoT покращують продуктивність, безпеку та екологічність у різних галузях промисловості та в приватних будинках. Компанії отримують вигоду від оптимізованих процесів, більш точного моніторингу, нижчих операційних витрат і кращих бізнес-рішень у режимі реального часу, тоді як удома пристрої IoT автоматизують системи освітлення та опалення для більш комфортного та безпечного життя.

4 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

4.1 Мережеві протоколи для рішень Smart Home та IoT .

Мережеві протоколи для рішень Smart Home та Інтернету речей можна розділити на мережі інтелектуальних пристроїв і традиційні мережі, призначені в основному для високої швидкості передачі даних.

Очікується, що мережеві протоколи «розумного дому» запровадять протоколи, які вже створені в бездротових сенсорних мережах і комунікації «машина-машина» (M2M), без явного переможця наразі. Додавання багатьох розширених функцій до протоколу збільшує вартість і зменшує простоту використання. Розробка оптимального протоколу не є тривіальним завданням і зазвичай є компромісом між вартістю та продуктивністю.

З точки зору топології, яка буде використовуватися, сітка є найбільш підходящим вибором топології мережі для бездротового зв'язку через наявність перешкод у домі, як-от стіни, меблі тощо. Подвійна сітка, що означає, що мережа працює як комбінована дротова і бездротова, це є відповідним рішенням для домогосподарств, у яких раніше була встановлена дротова система домашньої автоматизації.

Існує багато протоколів, розроблених для рішень розумного будинку. Деякі з них походять з періоду, коли розумний дім був зарезервований для заможних домогосподарств, і багато нових, які намагаються поєднати старі принципи дизайну з новими технологіями. X10 є найстарішим протоколом, який спочатку був дротовим, але нові модифікації зробили його двосітковим. Insteon є ще один приклад протоколу подвійної сітки, який нещодавно був інтегрований у Nest, що належить Google, платформу Apple HomeKit і Apple Watch. Новітніші протоколи працюють лише бездротово (ZigBee, Z-Wave, 6lowpan, EnOcean тощо).

Існують різні способи класифікації протоколів, і жоден із них не є достатньо вичерпним. Згідно запиту Google Scholar щодо публікацій, які

охоплюють кожен із цих протоколів, і зведену статистику щодо кількості публікацій наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Кількість публікацій про мережі в IoT та Smart Home за даними Google Scholar

	Zigbee	6lowpan	Z-Wave	Bacnet	X10	EnOcean	Insteon
Без патентів	228000	9790	5770	6700	1840	1520	720
З патентами	264000	9010	7650	7550	1890	2440	1080

Таблиця 4.1 показує, що ZigBee є найпопулярнішим протоколом, але це справедливо лише для наукових досліджень і академічних кіл. На практиці протокол Z-Wave має найбільше виробників, головним чином завдяки їх сумісності. За даними Z-Wave Alliance, з моменту початку продажів у 2005 році було продано понад 35 мільйонів продуктів Z-Wave.

Основні функції ZigBee, Z-Wave та Insteon наведено в таблиці 4.2. Теоретично мережа Z-Wave обмежена максимум 232 пристроями, але більшість постачальників рекомендують використовувати приблизно 30-50. Наприклад, MiOS LTD зі своїми продуктами Vera рекомендує 50 пристроїв для Vera Lite і 100 пристроїв для Vera 3.

Кожен рівень структури IoT повинен мати особливі особливості. Визначаємо та підсумовуємо необхідні можливості пристроїв IoT на кожному рівні в таблиці 4.3.

Таблиця 4.2 – Основні функції ZigBee, Z-Wave та Insteon.

	ZigBee	Z-Wave	Insteon
Media	бездротовий (радіо)	бездротовий (радіо)	бездротовий (радіо) і дротовий (лінія електромережі)
Частота	2,4 ГГц (у всьому світі), 915 МГц (Америка та Австралія), 868 МГц (Європа)	< 1 ГГц, (868,42 МГц Європа; 908,42 МГц США; 916 МГц Ізраїль; 919,82 МГц Гонконг; 921,42 МГц Австралія/Нова Зеландія)	бездротовий частота 915 МГц
Топологія мережі	Сітка	Сітка	подвійна сітка
Продавці	Texas Instruments, Atmel, Silicon Labs, Freescale тощо.	Sigma Designs	Smartlabs, Logitech
Макс. кількість вузлів	65000 (теоретично), 500 (на практиці)	232 (теоретично), 50-100 (на практиці)	16777216
Діапазон	від 10 до 100 метрів лінії-зір	30 м на відкритому повітрі, < 30 м у приміщенні	40м
Модуляція	Двійкова фазова модуляція (BPSK) для 868 і Діапазони 915 МГц або зміщена квадратурна фазова модуляція (OQPSK) для 2,4 ГГц	Манчестерське каналне кодування Гаусса зі зсувом частоти (GFSK).	Частота-маніпуляція зсувом (FSK)

Таблиця 4.3 – Можливості частин IoT для системи управління розумним будинком

	Топологія мережі	Протоколи зв'язку	Обчислювальні можливості	Вимоги до пам'яті
Розумний пристрій	сітка/зірка	ZigBee/ Z-Wave/ /Bluetooth/Insteon/X10 тощо.	низький	низький
Хаб	сітка/зірка	ZigBee/ Z-Wave/ /Bluetooth/Insteon/X10 тощо; LTE/оптичне волокно/Wi-Fi	середній	від низького до середнього
Хмара	не застосовується	LTE/оптичне волокно/Wi-Fi	дуже високий	дуже високий
Третя сторона	не застосовується	LTE/оптичне волокно/Wi-Fi	висока	додаток залежний, від середнього до високого

4.2 Сумісність бездротових мережевих протоколів

Наразі основною проблемою для розробки універсального рішення для розумного дому є вартість, пов'язана з інтеграцією пристроїв для розумного дому. Інтер операбельність є ключем для конкурентних рішень в IoT. Провідні світові компанії, які виробляють розумні пристрої, працюють над досягненням повної сумісності, що забезпечить легку інтеграцію з існуючим Інтернетом.

Продукти Z-Wave вже сумісні з їхніми попередніми версіями, тоді як ZigBee Alliance зі своїм Zigbee 3.0 оголосив, що цю функцію буде впроваджено в майбутньому. ZigBee сформував багато комітетів, які мають на меті визначити властивості продукту, необхідні різним постачальникам для створення сумісних пристроїв для різних профілів загальнодоступних програм, як-от домашня автоматизація, охорона здоров'я, дистанційне керування тощо. Проте продукти не обов'язково взаємодію між цими

профілями та різними версіями в межах профілю. З іншого боку, X10 і Insteon повністю сумісні один з одним. Таблиця 4.4 підсумовує характеристики сумісності цих протоколів.

Таблиця 4.4 – Функції сумісності , X10, Z-Wave і ZigBee

	Insteon	X10	Z-Wave	ZigBee
ZigBee	невидимі один для одного	немає	немає	немає
Z-хвиля	невидимі один для одного	немає	так	
X10	так	так		
Insteon	так			

4.3 Рішення IoT у розумній мережі та розумному домі

Інтеграція IoT в інтелектуальну мережу привнесе новий погляд на управління електроенергією з вигодою для всіх залучених сторін.

Таблиця 4.5 розрізняє потенційні програми IoT щодо різних аспектів (частин) розумної мережі та розумного будинку. Велика частина досліджень ускладнена багатьма проблемами, особливо коли йдеться про перші три аспекти (виробництво, передача та розподіл) розумної мережі. Проблеми здебільшого виникають через суворі умови, в яких розгортаються сенсорні пристрої. Експериментальні результати з використанням сенсорних мереж, сумісних зі стандартом IEEE 802.15.4, показують, що бездротові канали (включаючи сценарії прямої видимості (LOS) і не-LOS (NLOS)) в інтелектуальній мережі мають високу частоту помилок пакетів і змінну пропускну здатність зв'язку через електромагнітні перешкоди, шум обладнання, перешкоди тощо. Бездротові вузли накладають додаткові обмеження, тобто обмеження пам'яті та обробки вузлів датчиків та їх обмежені ресурси живлення.

Таблиця 4.5 – Потенційні застосування IoT для розумної мережі

Постачальники енергії Генерація енергії	Спосіб передавання	Розподіл	Споживачі
Моніторинг генерації в реальному часі	Контроль ліній електропередач	Моніторинг підземної кабельної системи	Бездротове автоматичне зчитування лічильників (розумне вимірювання)
Контроль електростанцій	Моніторинг потужності	Управління трансформаторними станціями	Домашнє (житлове) енергоменеджмент
Контроль альтернативних джерел енергії			Управління сонячними панелями
Моніторинг житлового (розподіленого) виробництва			Прогнозування майбутнього виробництва сонячних панелей і вітрових турбін (за допомогою даних датчиків, таких як температура або вологість)

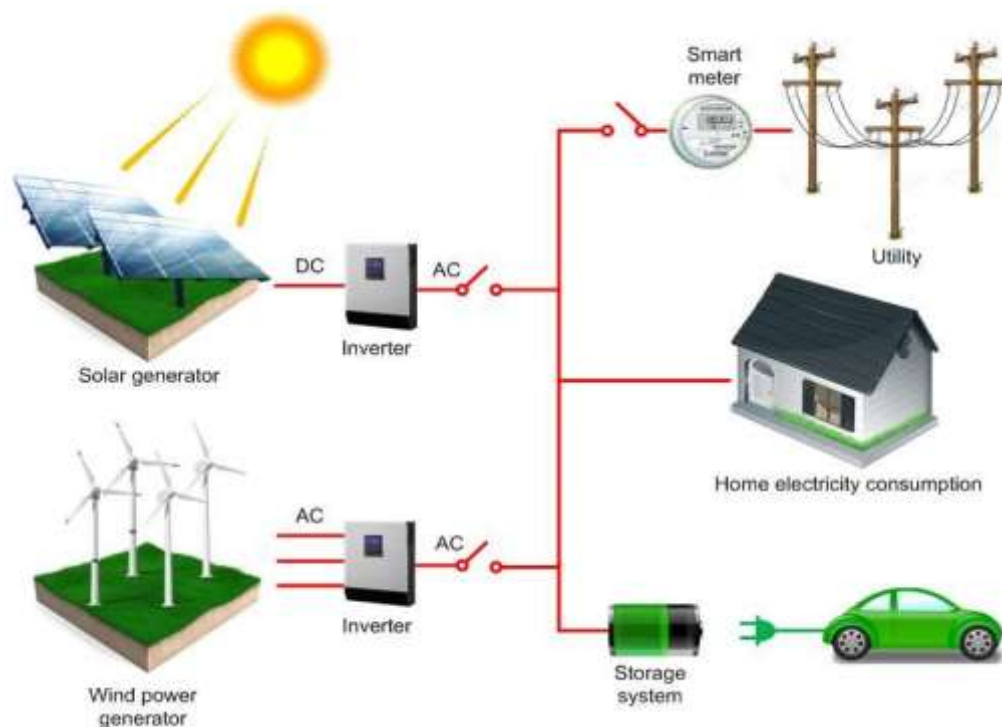
Більшість із цих проблем не присутні на четвертій, споживчій стороні розумної мережі, тобто розумному домі. Наприклад, датчики зазвичай підключаються до побутової техніки, і проблема заряду батареї стає зайвою, оскільки пристрої мають постійне живлення. Крім того, сильні електромагнітні поля не пов'язані з інфраструктурою домашньої електромережі. Тим не менш, IoT для розумного дому піддається таким

проблемам, як надійність, конфіденційність і безпека.

Сучасні будинки, оснащені інтелектуальними лічильниками, розумними приладами, розумними розетками та сенсорними пристроями, дозволяють розвивати енергозберігаючі розумні будинки (рис. 4.1).

У цьому підрозділі ми представляємо відповідні концепції та пропозиції, які семантично належать до категорії, що стосується рішень IoT для розумного дому, головним чином із сусідніх областей бездротових сенсорних мереж, домашньої автоматизації та розумних мереж.

Запропоновані архітектури з точки зору найсучасніших програмних технологій, зосереджених на домашньому середовищі та моніторингу середовища існування. Пропонуються рішення для веб-платформи розумного дому з енергозбереженням, яка дозволяє підключати розумні пристрої до Інтернету. Оцінка рішення виконується з використанням WSN, організованого у вигляді зіркової топології, а також топології з кількома стрибками (до трьох стрибків) для великих квартир (розумних будинків площею близько 100 м²).



Малюнок 4.1 – Розумний будинок з використанням WSN (Wireless sensor networks).

Встановлено модульну та розширювану WSN. Змодельовано енергетичну поведінку будівлі. Ці теплові моделі покращуються за допомогою показань внутрішньої та зовнішньої WSN (температура повітря та води, датчик сонячного випромінювання, погодні умови та інформація про споживання електроенергії), завдяки чому досягається більш точне прогнозування температури в приміщенні.

Використовуючи стандартну модель опору-ємності (RC), максимальна досягнута похибка вимірювання становить $1,790^{\circ}\text{C}$. Стандарт IEEE 802.15.4 на частоті 2,4 ГГц використовується для зв'язку всередині приміщень. Визначення параметрів моделі виконується за допомогою методу оцінки сірого ящика.

4.4 Цілісність системи основа для розумного дому на основі Інтернету речей

Очікується, що розумні об'єкти будуть домінувати на ринку і стануть розповсюдженими в домогосподарствах, що викличе потребу в нових і вдосконалених послугах для розумних будинків. З цих причин потреба в рішеннях на основі Інтернету речей буде незаперечною.

Виділяють п'ять технологій IoT як важливі для створення успішних рішень в розумному будинку: радіочастотну ідентифікацію, бездротові сенсорні мережі, проміжне програмне забезпечення, хмарні обчислення та програмне забезпечення для розробки додатків.

Визначають три категорії IoT для корпоративних програм: моніторинг і контроль, великі дані та бізнес-аналітика, а також обмін інформацією та співпраця.

Структура, яка зосереджена на енергоменеджменті, з можливостями для внутрішнього або хмарного аналізу даних і прийняття рішень.

Модель доповнена хмарою та адаптована до конкретної області застосування, тобто розумний дім. Ця багаторівнева ієрархічна цілісна

структура, заснована на Інтернеті речей, використовується як оболонка або узагальнення всіх ключових характеристик рішень IoT для розумних будинків, визначених у літературі. Графічне представлення фреймворку наведено на малюнку 4.2. У фреймворку дані надсилаються бездротовим способом і показані пунктирними лініями. Жовті лінії відповідають двонаправленому потоку електроенергії.

Розумний будинок. Всі побутові пристрої, оснащені інтерфейсами для бездротового зв'язку, складають домашню WSN. Кожен дім має WSN, і отримані дані з кожного пристрою пересилаються на центральну станцію, яку ми називаємо домашнім приймачем або домашнім концентратором.

Кожен вузол домашньої WSN вважається розумним пристроєм і має помірні обчислювальні та комунікаційні можливості. Домашнім концентратором може бути будь-який один пристрій (розумний лічильник, ПК, планшет або смартфон), який має певну ємність для зберігання даних, може виконувати локальну обробку та може спілкуватися з пристроями за межами домашньої WSN. У випадку розумних житлових комплексів або розумних будинків відповідник домашнього центру ідентифікується як житловий споживач або житловий центр.

Порівняно з домашнім хабом він повинен мати додаткову функцію, яка полягає в тому, що відповідає за керування даними від/до спільних розподілених джерел. Це досить важливо, оскільки відновлювані джерела зазвичай розподіляються серед споживачів, одним із прикладів є житловий будинок із фотоелектричною системою на даху, де фотоелектрична система використовується всіма домогосподарствами в будівлі. У рамках цієї системи кожне розподілене відновлюване джерело енергії вважається розумним пристроєм.

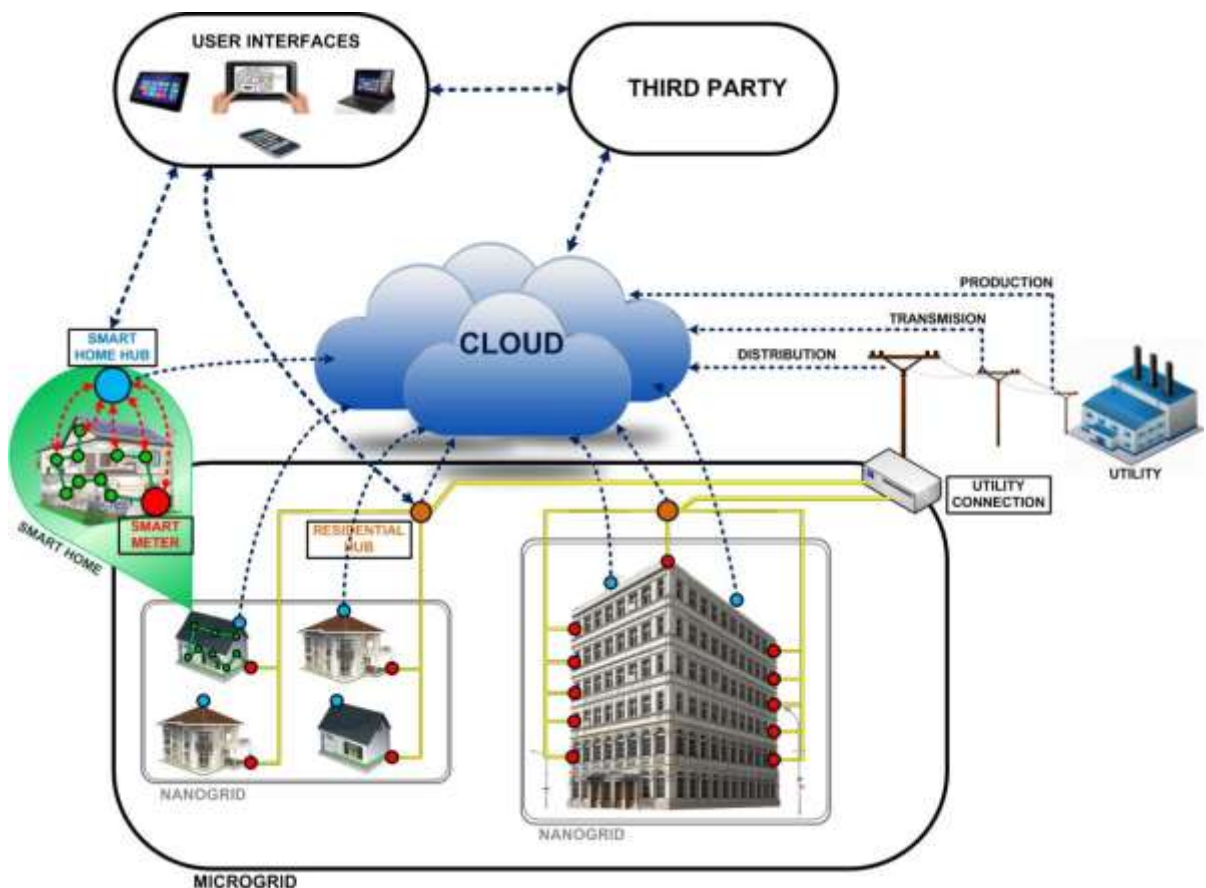


Рисунок 4.2 – Багаторівнева структура IoT для розумного будинку

Усі дані з різних джерел накопичуються в хмарі (дані домогосподарств, вимірювання датчиків з ліній передачі/розподілу або з виробничих майданчиків тощо). Хмара повинна забезпечити масивну інфраструктуру зберігання та обробки даних. Хмара дозволяє високу надійність, масштабованість і автономію для наступного покоління програм IoT. Хмара є центральною частиною цієї системи, тому структуру можна розглядати як хмарно орієнтовану або «базовану на хмарі».

Додатки. Цей рівень відповідає іншим частинам розумної мережі, окрім розумного дому: виробництво, передача та розподіл. Кожна частина незалежно надсилає дані безпосередньо в хмару. Типовою інформацією, якою можна обмінюватися з комунальним підприємством, є: ціна на електроенергію, прогноз погоди, стан лінії розподілу/передачі, поточне та майбутнє споживання мікромережі, поточне та майбутнє виробництво

розподілених джерел виробництва, пов'язаних із мікромережею, тощо.

Інтерфейс користувача. Цей рівень представляє користувацькі інтерфейси, які доставляють дані кінцевим користувачам (повідомлення, рекомендації, елементи керування смарт-пристроями тощо). Необроблені табличні дані, що стосуються місячного (або навіть щоденного) споживання домогосподарствами, важко інтерпретувати користувачам. Потрібен більш складний інструмент візуалізації, щоб представити не лише загальне споживання домогосподарства, але й споживання на рівні пристроїв/приладів.

Це особливо корисно, оскільки споживачі зможуть дізнатися більше про різні прилади у своєму домі, особливо ті, якими не можна керувати автоматично, як-от негнучкі пристрої, що дозволить користувачам інтуїтивно керувати ними, враховуючи їх споживчу природу. Програми сторонніх розробників повинні докладати зусиль для розробки інтуїтивно зрозумілих візуальних інтерфейсів користувача для споживачів і часто оцінювати їх за допомогою показників якості досвіду (QoE).

Системи управління розумним будинком. Система енергоменеджменту визначається як інтерфейс між комунальною компанією та розумними пристроями, які споживають електроенергію. Він має на меті забезпечити переваги для обох сторін (комунальних підприємств і споживачів), дещо упереджено щодо споживачів.

Інший широко використовуваний термін – управління попитом (DSM). Він являє собою набір технологій, які дозволяють відстежувати та контролювати споживання/виробництво на рівні споживача з метою балансування потужності в майбутніх енергетичних системах.

У контексті рішень Інтернету речей для розумного дому традиційна модель DSM зміщується до моделі, орієнтованої на хмару. Хмарний підхід пропонує централізовану оптимізацію, яка враховує величезний набір параметрів; отже, очікується, що він перевершить управління енергією

порівняно з традиційним підходом.

На малюнку 4.3 показано загальну модель управління розумним будинком, прийняту для нашої цілісної структури. Основні завдання, які необхідно виконати на кожному рівні, представлені наступним чином.

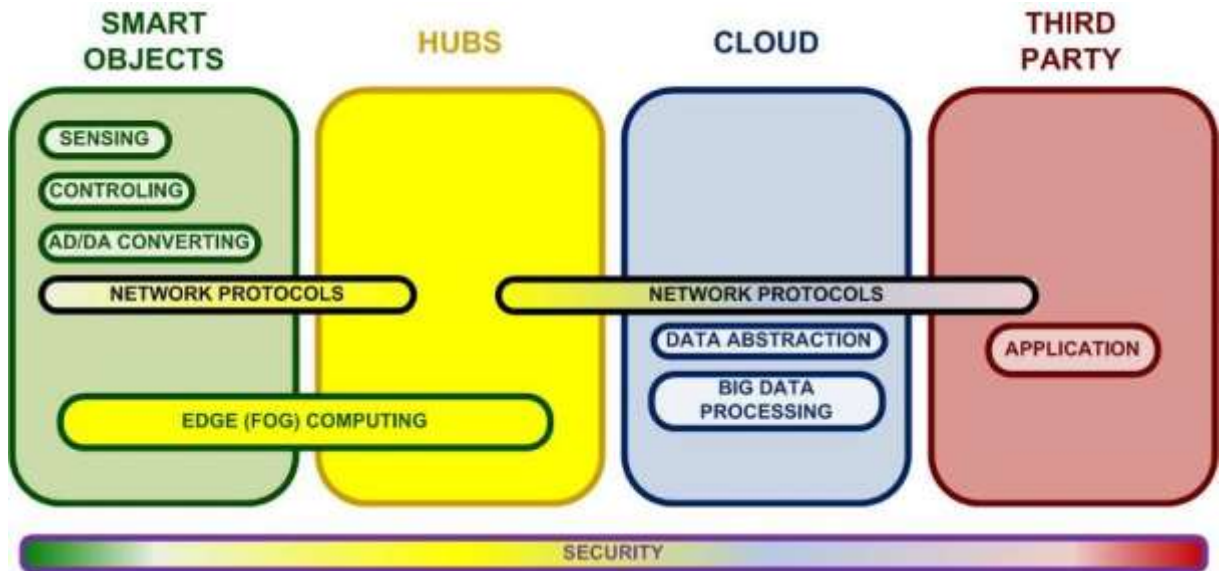


Рисунок 4.3 – Загальна модель управління розумним будинком

4.5 Радіочастотний модуль Digi International XBee, XBP24-A-001



Рисунок 4.4 – Модулі XBee /XBee-PRO

Радіочастотний модуль: XB24-A...-001, XBP24-A...-001, модулі IEEE 802.15.4 від Digi International XBee і XBee-PRO були розроблені відповідно до стандартів IEEE 802.15.4 і підтримують унікальні потреби недорогих бездротових сенсорних мереж з низьким енергоспоживанням. Модулі потребують мінімальної потужності та забезпечують надійну доставку даних

між пристроями. Модулі працюють у діапазоні частот ISM 2,4 ГГц і сумісні один з одним.

Основні характеристики

Цілісність даних діапазону XBee:

- У приміщенні/міському режимі: до 100 футів (30 м)
- Пряма видимість поза приміщенням: до 300 футів (90 м)
- Потужність передачі: 1 мВт (0 дБм)
- Чутливість приймача: -92 дБм

Цілісність даних діапазону XBee-PRO

- У приміщенні/міському режимі: до 300 футів (90 м), 200 футів (60 м) для міжнародного варіанту
- Пряма видимість поза приміщенням: до 1 милі (1600 м), 2500 футів (750 м) для міжнародного варіанту
- Потужність передачі: 63 мВт (18 дБм), 10 мВт (10 дБм) для міжнародного варіанту
- Чутливість приймача: -100 дБм Швидкість передачі радіочастот: 250 000 біт/с

Розширені мережі та безпека:

- Повторні спроби та підтвердження
- DSSS (розширений спектр прямої послідовності)
- Кожен канал прямої послідовності має понад 65 000 доступних унікальних мережевих адрес
- Адресація джерела/одержувача – одноадресний і широкомовний зв'язок точка-точка, точка-багато точок, підтримуються однорангові топології

Споживана потужність XBee

- Піковий струм передачі: 250 мА (150 мА для міжнародного варіанту)
- Піковий струм передачі (лише модуль RPSMA): 340 мА (180 мА для міжнародного варіанту)
- Струм прийому: 55 мА (при 3,3 В)

– Струм вимкнення: < 10 мкА

Підтримка АЦП і лінії вводу/виводу

Аналого-цифрове перетворення, передача лінії цифрового вводу/виходу/виводу

Таблиця 4.6 – Специфікації радіочастотних модулів XBee /XBee-PRO

Специфікація	XBee	XBee-PRO
Продуктивність		
Критий/Міський Діапазон	до 100 футів (30м)	До 300 футів (90 м), до 200 футів (60 м) Міжнародний варіант
Відкритий RF прямої видимостіДіапазон	до 300 футів (90м)	До 1 милі (1600 м), до 2500 футів (750 м)міжнародний варіант
Вихідна потужність передачі (програмне забезпечення на вибір)	1 мВт (0дБм)	63 мВт(18 дБм)* 10 мВт (10 дБм) для Міжнародний варіант
RF Дані Оцінка	250 000біт/с	250 000біт/с
Швидкість передачі даних через послідовний інтерфейс (програмне забезпечення на вибір)	1200 біт/с - 250кбіт/с (нестандартний бод також підтримується)	1200 біт/с - 250кбіт/с (нестандартний бод ставки також підтримується)
Чутливість приймача	-92 дБм (1% пакет помилка ставка)	-100 дБм (1% пакет помилка ставка)
Вимоги до живлення		
ПостачанняНапруга	2.8 – 3.4В	2.8 – 3.4В
Передавати поточний(типовий)	45 мА (@ 3.3V)	250 мА (при 3,3 В) (150 мА для міжнародного варіанту)Лише модуль RPSMA: 340 мА (при 3,3 В) (180 мА для міжнародного варіанту)
Бездіяльність / Отримати поточний (типовий)	50 мА (@ 3.3V)	55 мА (@ 3.3V)
Вимкнення живлення поточний	< 10мкА	< 10мкА
Загальний		

Операційна Частота	ISM 2.4ГГц	ISM 2.4ГГц
Розміри	0,960" x 1,087" (2,438 см x2,761 см)	0,960" x 1,297" (2,438 см x3,294 см)
Операційна температура	-40 до 85° C(промисловий)	-40 до 85° C(промисловий)
Антенна Опції	Вбудований конектор Whip, Chip або U.FL, RPSMAPоз'єм	Вбудований конектор Whip, Chip або U.FL, RPSMAPоз'єм
Мережа та безпека		
Підтримується Мережа Топології	точка-точка, Точка-багато точок & Одноранговий	
Кількість каналів(програмне забезпечення на вибір)	16 Прямий ПослідовністьКанали	12 Прямий ПослідовністьКанали
Адресація Опції	ПАН ID, Канал іАдреси	ПАН ID, Канал іАдреси

Параметри антени: Зазначені діапазони типові для використання інтегрованих штирьових (1,5 дБі) і дипольних (2,1 дБі) антен. Варіант мікросхемної антени забезпечує переваги у своєму форм-факторі; однак зазвичай вона дає менший радіус дії, ніж варіанти швидшої та дипольної антен під час передачі на відкритому повітрі.

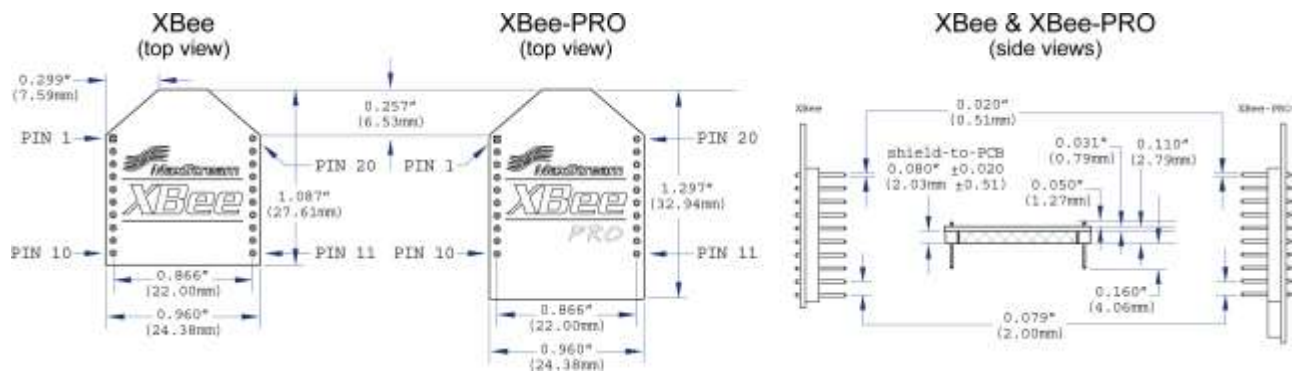


Рисунок 4.5 – Креслення радіочастотних модулів XBee/XBee-PRO
(варіанти антен не показані)

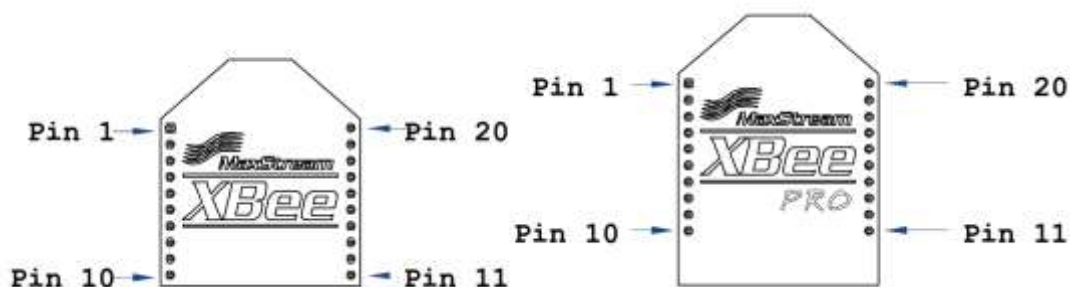


Рисунок 4.6 – Номери контактів радіочастотного модуля XBee/XBee-PRO
(показано верхні сторони - щити вниз)

Таблиця 4.7 – Призначення контактів для модулів XBee та XBee-PRO

Pin #	Ім'я	Напрям	опис
1	VCC	-	Power supply
2	DOUT	Output	UART Data Out
3	DIN / CONFIG	Input	UART Data In
4	DO8*	Output	Digital Output 8
5	RESET	Input	Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns)
6	PWM0 / RSSI	Output	PWM Output 0 / RX Signal Strength Indicator
7	PWM1	Output	PWM Output 1
8	[reserved]	-	Do not connect
9	DTR / SLEEP_RQ / DI8	Input	Pin Sleep Control Line or Digital Input 8
10	GND	-	Ground
11	AD4 / DIO4	Either	Analog Input 4 or Digital I/O 4
12	CTS / DIO7	Either	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7
13	ON / SLEEP	Output	Module Status Indicator
14	VREF	Input	Voltage Reference for A/D Inputs
15	Associate / AD5 / DIO5	Either	Associated Indicator, Analog Input 5 or Digital I/O 5
16	RTS / AD6 / DIO6	Either	Request-to-Send Flow Control, Analog Input 6 or Digital I/O 6
17	AD3 / DIO3	Either	Analog Input 3 or Digital I/O 3
18	AD2 / DIO2	Either	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1 / DIO1	Either	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0 / DIO0	Either	Analog Input 0 or Digital I/O 0

Примітки:

- Мінімальна кількість підключень: VCC, GND, DOUT і DIN
- Мінімальна кількість підключень для оновлення прошивки: VCC, GND,

DIN, DOUT, RTS і DTR

- Напрямок сигналу вказується відносно модуля
- Модуль містить підтягуючий резистор 50 кОм, приєднаний до RESET
- Кілька входних підтягувань можна налаштувати за допомогою команди PR
- Невикористовувані контакти слід залишити від'єднаними

Таблиця 4.7 – Електричні характеристики

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typical		Max	Unit
VIL	Input Low Voltage	All Digital Inputs	-	-		0.35 * VCC	V
VIH	Input High Voltage	All Digital Inputs	0.7 * VCC	-		-	V
VOL	Output Low Voltage	IOL = 2 mA, VCC ≥ 2.7 V	-	-		0.5	V
VOH	Output High Voltage	IOH = -2 mA, VCC ≥ 2.7 V	VCC - 0.5	-		-	V
IIIN	Input Leakage Current	VIN = VCC or GND, all inputs, per pin	-	0.025		1	μA
IIOZ	High Impedance Leakage Current	VIN = VCC or GND, all I/O High-Z, per pin	-	0.025		1	μA
TX	Transmit Current	VCC = 3.3 V	-	45 (XBee)	215, 140 (PRO)	-	mA
RX	Receive Current	VCC = 3.3 V	-	50 (XBee)	55 (PRO)	-	mA
PWR-DWN	Power-down Current	SM parameter = 1	-	< 10		-	μA

Робота радіочастотного модуля

Радіочастотні модулі XBee/XBee-PRO підключаються до головного пристрою через асинхронний послідовний порт логічного рівня. Через послідовний порт модуль може обмінюватися даними з будь-яким UART, сумісним з логікою та напругою; або через транслятор рівня на будь-який

послідовний пристрій (Наприклад: через власну плату RS-232 або USB-інтерфейс Digi).

Потік даних UART. Пристрої, які мають інтерфейс UART, можуть підключатися безпосередньо до контактів радіочастотного модуля, як показано на малюнку нижче.

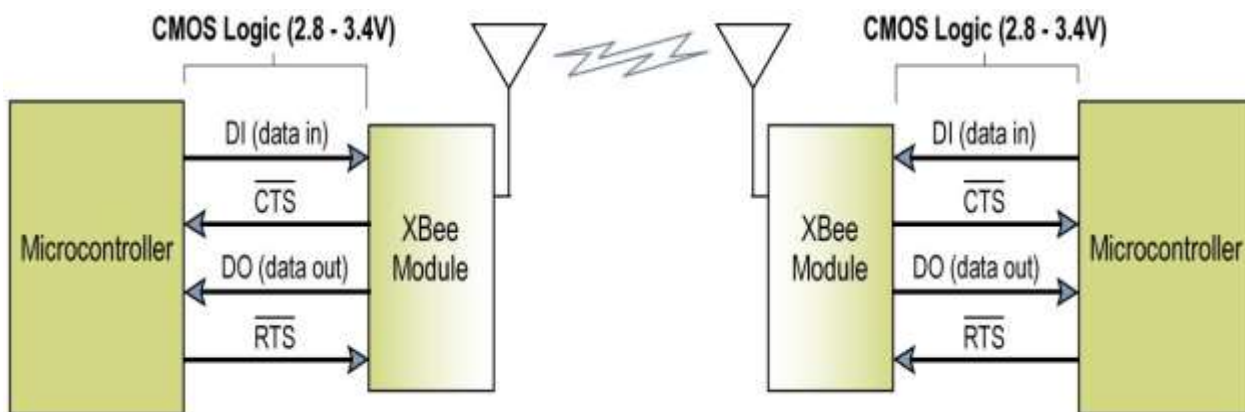


Рисунок 4.7 – Схема потоку системних даних у середовищі з інтерфейсом UART

Дані надходять на модуль UART через контакт DI (контакт 3) як асинхронний послідовний сигнал. Сигнал холостого ходу має бути високим, коли дані не передаються.

Кожен байт даних складається з початкового біта (молодший), 8 бітів даних (спочатку молодший біт) і стоп-біта (старший). Наступний малюнок ілюструє послідовний бітовий шаблон даних, що проходять через модуль.

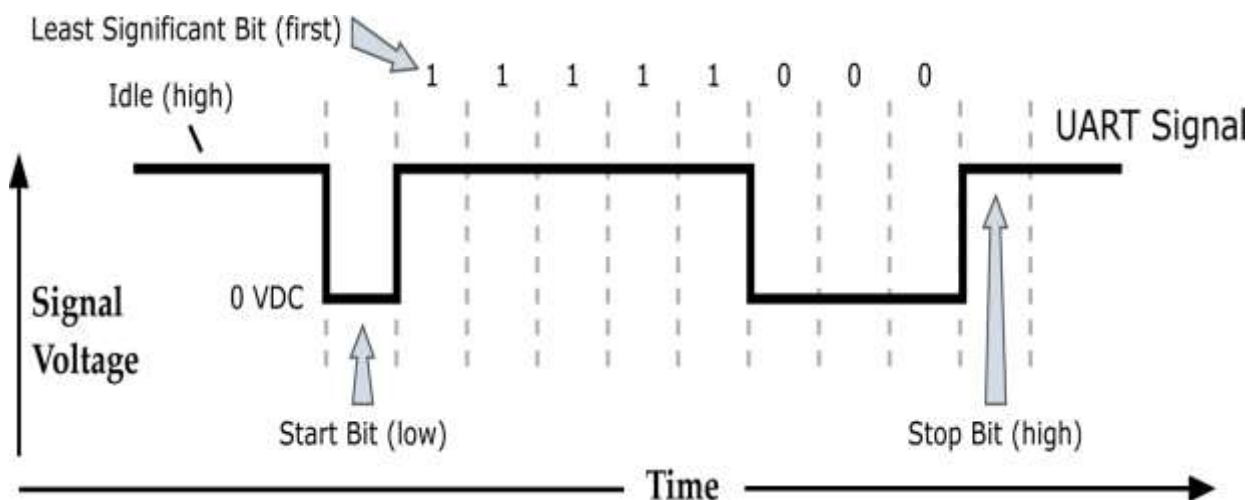


Рисунок 4.8 – Пакет даних UART 0x1F (десятькове число «31»), що передається через РЧ-модуль

Приклад формату даних: 8-N-1 (біти - парність - кількість стоп-бітів)

Послідовний зв'язок залежить від двох UART (мікроконтролера та радіочастотного модуля), які мають бути налаштовані з сумісними параметрами (швидкість передачі даних, парність, стартові біти, стоп-біти, біти даних).

Швидкість передачі UART і параметри парності на модулі XBee можна налаштувати за допомогою команд BD і SB відповідно.

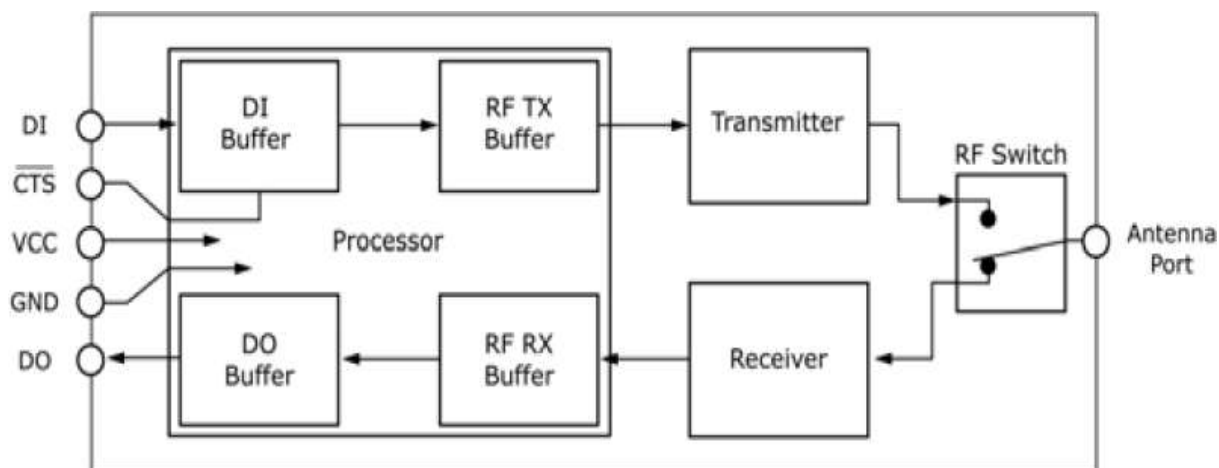


Рисунок 4.9 – Внутрішня схема потоку даних

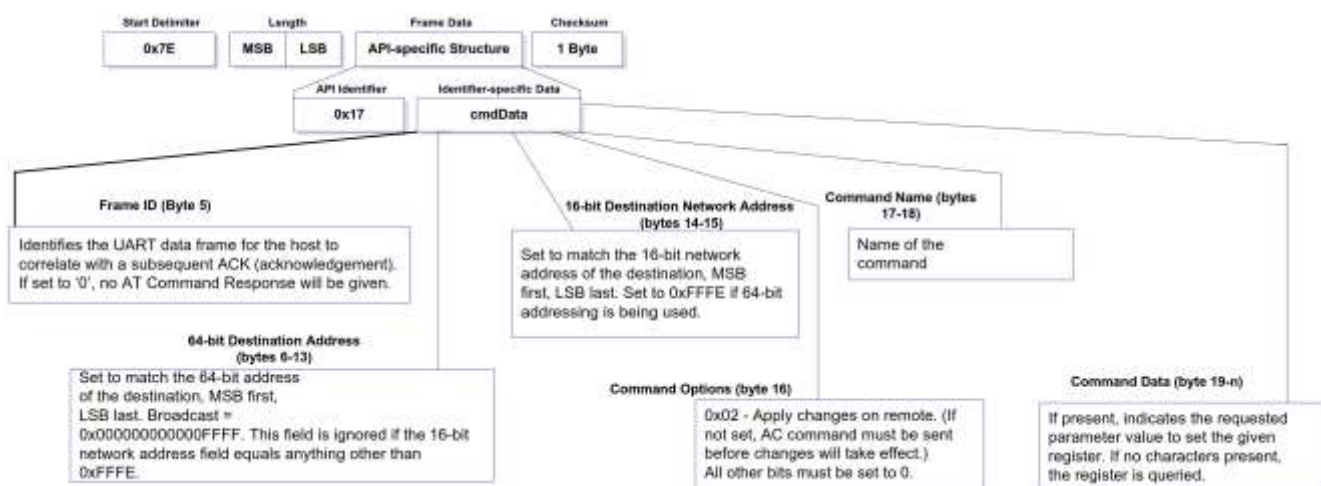


Рисунок 4.10 – Запит віддаленої команди AT.

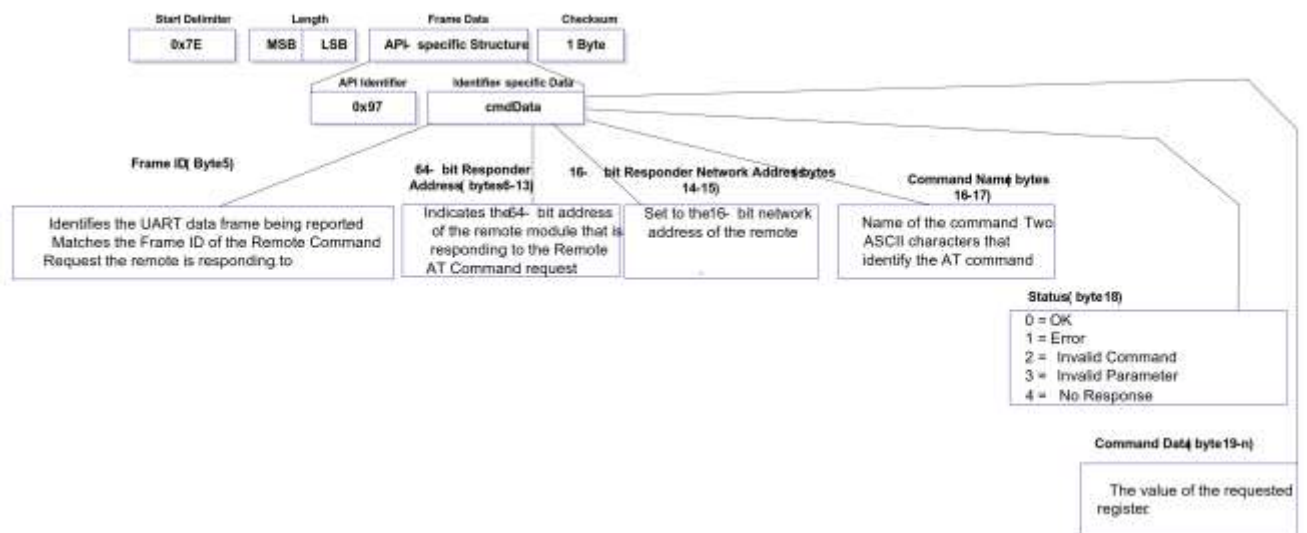


Рисунок 4.11 – Відповідь на віддалену команду AT.

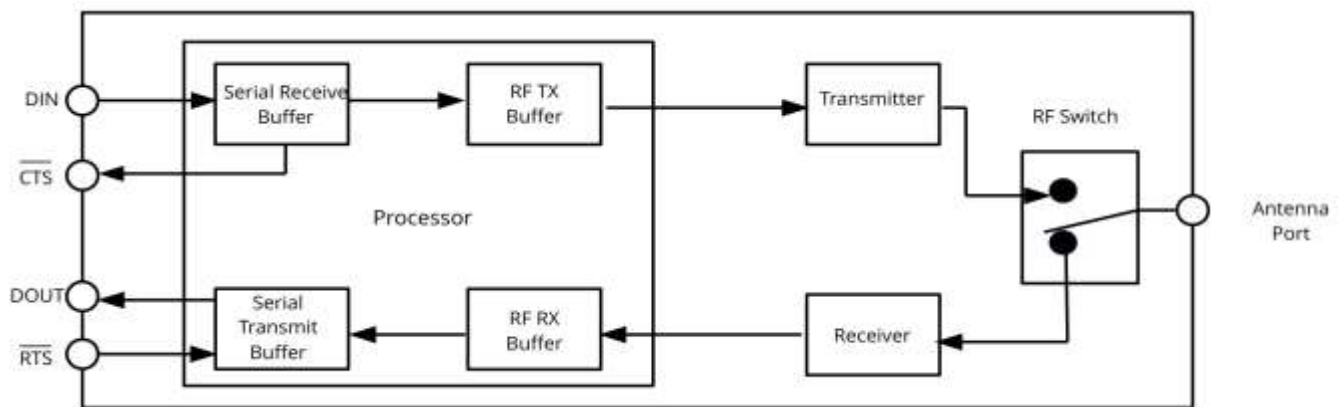


Рисунок 4.12 – Функціональна схема XBee/XBee-PRO

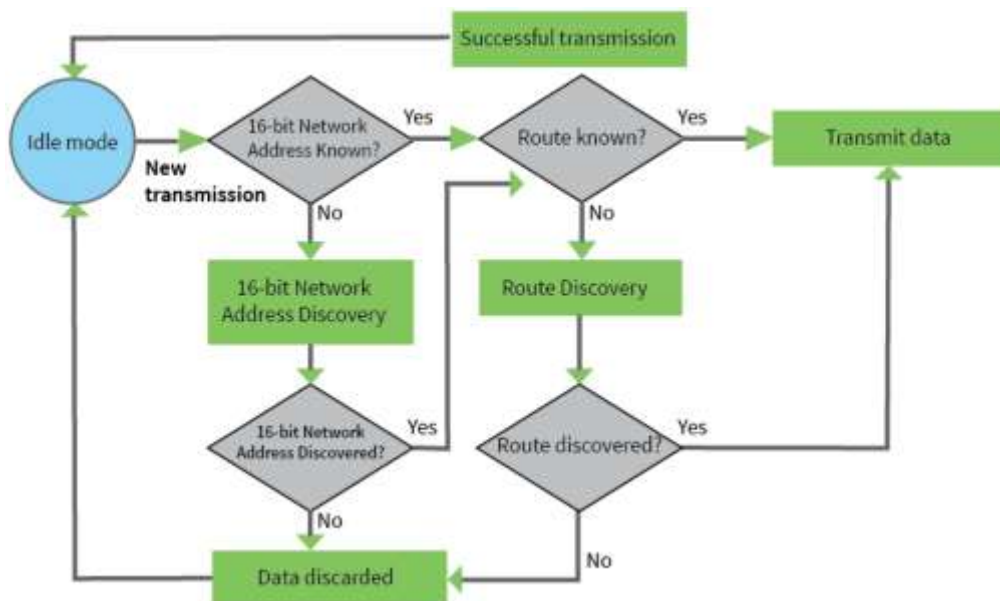


Рисунок 4.13 – Алгоритм роботи XBee/XBee-PRO

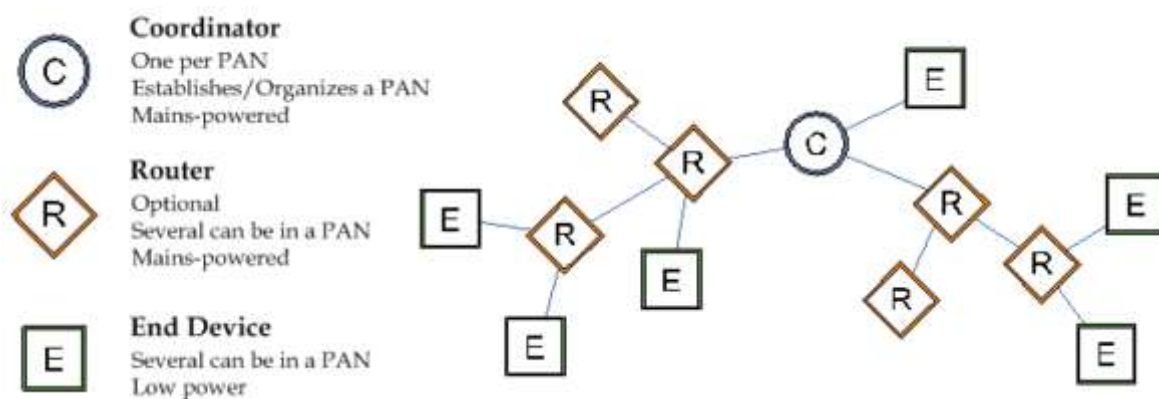


Рисунок 4.14 – Приклад мережі XBee/XBee-PRO

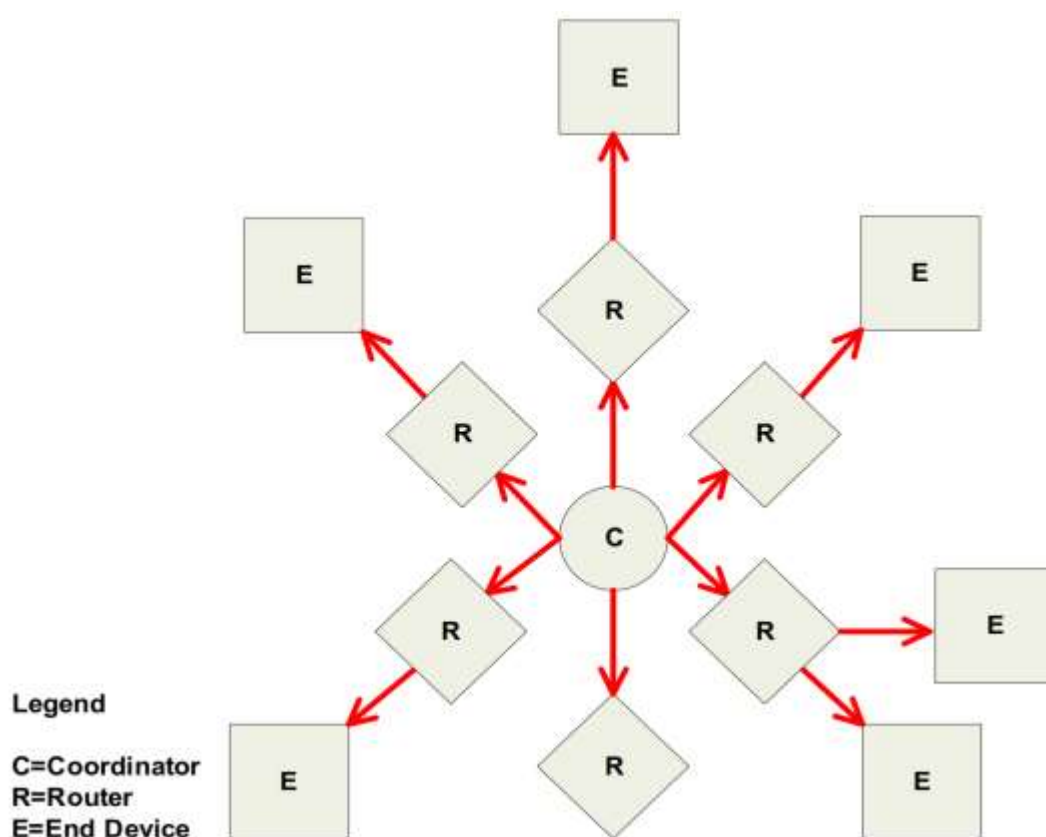


Рисунок 4.15 – Передача даних в мережі XBee/XBee-PRO

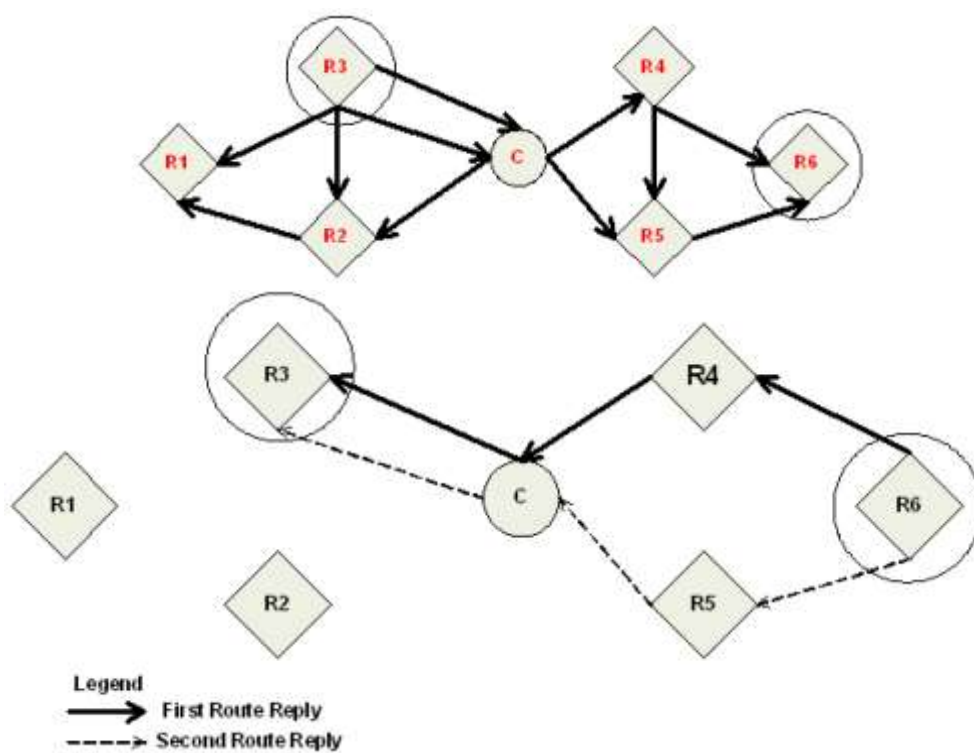


Рисунок 4.16 – Алгоритм маршрутизації AODV в мережі XBee/XBee-PRO

4.6 Розробка автоматизованої системи управління і контролю на базі модуля обчислювача MCX53-34.x

4.6.1 Призначення.

Модуль обчислювача MCX53XX призначений для широкого спектру задач в області автоматизації й контролю.

MCX53.XX функціонально закінчений блоки в DIN виконанні, має 12 універсальних входів/виходів і 8 силових виходів, набір інтерфейсів.

MCX53.XX на базі мікроконтролера ARM7 Cortex-M3 STMicroelectronics STM32F103.

Застосування цього функціонально насиченого й з великими обсягами пам'яті мікроконтролера, дозволило у MCX53.XX записати власний інтерпретатор. Наявність гальванічно розв'язаного RS485 дозволяє будувати мережі, що складаються з багатьох вузлів.

Додатковий локальний RS485 або CAN інтерфейс дозволяє легко нарощувати ПЛК до необхідної кількості входів/виходів. Програмування модуля виробляється простим підключенням до PC через USB-Порт. Деякі виконання MCX53.XX додатково містять гальванічно розв'язаний канал MicroLan 1-wire з майстер чипом DS2482 спеціально призначеним для роботи із протяжними лініями.

12 універсальних ліній ПЛК MCX53.XX працюють як у дискретному, так і в аналогових режимах. При це 2 канали можуть працювати в режимі ЦАП 0...10В / 0...20мА. Режим кожної лінії можна задавати індивідуально.

Усе вище перераховане, дозволяє за допомогою MCX53.XX швидко вирішувати безліч різних завдань по автоматизації різних об'єктів.

Короткі технічні характеристики:

Мікроконтролер STM32F103RET6 / STM32F103RGT6 /
STM32F205RGT6

- Швидкодія 72 MHz / 120 MHz / 1.25 DMIPS/MHz (Dhrystone 4.1)
- Flash 512 Кбайт / 1024 Кбайт
- RAM 64 Кбайт / 96 Кбайт / 128+4 Кбайт
- АЦП 3 АЦП 12 біт 1мкс / 0.5мкс
- ЦАП 2 ЦАП 12біт
- Відлагоджувальний роз'єм Serial wire debug (SWD)
- Убудований однокристальний -BASIC-Cortex
- Інтерфейси без розв'язки - USB, RS485/CAN, I2C, SPI, MicroLan
- Гальванічно розв'язані інтерфейси - RS485, MicroLan DS2482-100
- Годинники реального часу з літєвим елементом
- Універсальні сигнальні входи / виходи - 12
- режим АЦП 0...+3.3В
- режим АЦП 0...10(24)В
- режим АЦП 0...20мА
- режим RT1000
- режим дискретного входу "сухий контакт" 3мА
- режим дискретного входу 0 / +3.3В
- режим дискретного входу 0/24У
- режим програмного MicroLan з підтримкою паразитного живлення
- режим логічного виходу 0/3.3В +-20мА
- режим виходу ШІМ 0/3.3В (8 ліній)
- режим ЦАП 12 біт 0...10В / 0...20мА (2 лінії)

Всі перераховані варіанти доступні у всіх основних виконаннях одночасно, режим задається індивідуально для кожної лінії

Ізольовані силові виходи - 8

- механічне реле 250V AC / 5 A
 - оптопара з детектором нуля 400 V / 0.15A
 - оптореле 1(2)A / 50B
 - ВХІД з індивідуальною гальванічною розв'язкою
Живлення +9...24В
- Габарити вузла в DIN конструктиві - 105x86x58

4.6.2 Склад і функціонування.

MCX53.XX можна умовно розділити на наступні складові частини:

- мікроконтролер з резонаторами й стабілізатором;
- група зовнішніх інтерфейсів RS485, (CAN) ,USB і MicroLan;
- сигнальні входи / виходи із джамперним полем;
- силові виходи;
- відлагоджувальний роз'єм;
- роз'єм розширення;
- елемент живлення для RTC;
- імпульсний стабілізатор;
- схема формування сигналу ЦАП;
- світлодіодна індикація.

Мікроконтролер з резонаторами й стабілізатором.

Мікроконтролер STM32F103RET6(GET6) розташований під тримачем елемента живлення RTC.

Для тактування основного генератора використовується кварц 8.000МГц. Із цієї частоти мікроконтролер синтезує потрібні тактові частоти, аж до 72 МГц. В ньому так само є прецизійний RC-Тактовий генератор на 8 МГц. При необхідності можна ним скористатися. Для тактування годинника реального часу використовується окремий кварц на 32768Гц.

Для живлення мікроконтролера використаний окремий стабілізатор 3.3В, вхідним живленням якого служить +5В. Кожна сигнальна лінія

виведена на зовнішнє роз'єм з'єднана через ланцюги, що сполучають, із двома різними лініями мікроконтролера. Одна лінія використовується як основна - для реалізації основної обраної функції. Друга лінія в парі із джамперним полем використовується для програмного завдання режиму основної лінії.

В мікроконтролері є убудований температурний датчик і джерело опорної напруги 1.2В.

4.6.3 Група зовнішніх інтерфейсів RS485, (CAN), USB і MicroLan

В всіх основних модифікаціях контролера присутні USB і гальванічно розв'язаний RS485.

Для роботи з USB на контролері встановлене mini-USB-B роз'єм.

USB розглядається, в основному, як термінальний канал для занесення BASIC-Програм, занесення параметрів, прийому накопичених даних, відновлення версій інтерпретатора й налагодження. Він не має гальванічної розв'язки з мікроконтролером і тому необхідно дотримувати відповідних мір обережності при підключенні до MCX53.XX підключеного до реального об'єкта. При підключенні MCX53.XX тільки до USB (при отсоединенні всіх ліній), допускається підключення й відключення модуля «на ходу», при цьому модуль буде заживлений від USB.

При підключенні до PC MCX53.XX буде видний як VCP -> віртуальний COM -порт (попередньо необхідно встановити відповідний драйвер).

Драйвер VCP під Windows доступний на сайті STMicroelectronics.

Для Linux спеціальний драйвер VCP не потрібний, він повинен бути просто дозволений у ядрі, але звичайно він дозволений до використання за замовчуванням.

Параметри каналу за замовчуванням : швидкість 115200 бод, 8 біт, 1 стоп біт, без парності, апаратний контроль.

Гальванічно розв'язаний канал RS485 розглядається як основний комунікаційний канал для з'єднання з мережею RS485. Контролер може працювати й у якості master і в якості slave пристрою в мережі MODBUS. Параметри каналу за замовчуванням : адреса MODBUS =2, швидкість 115200 бод, 8 біт, 1 стоп біт, без парності.

Список підтримуваних команд MODBUS наведений в описі інтерпретатора.

В контролері встановлені 3 джампера, які якщо буде потреба підключають лінію й термінатор.

Другий канал RS485 є присутнім не у всіх виконаннях, замість нього може бути встановлений варіант із CAN інтерфейсом. Обидва ці варіанта не мають гальванічної розв'язки. Вони розглядаються як канал для міжмодульного з'єднання.

Параметри RS485 каналу за замовчуванням : адреса MODBUS =4, швидкість 115200 бод, 8 біт, 1 стоп біт, без парності.

В контролері встановлені 3 джампера, які якщо буде потреба підключають підтяжки й термінатор.

Гальванічно розв'язаний канал MicroLan є присутнім у деяких виконаннях. Для реалізації каналу застосований чип DS2482-100. Цей чип спеціально розроблений авторами MicroLan 1-wire технології - фірмою DALLAS для застосування в складних умовах протяжних ліній зв'язку. Робота із цим чипом ведеться через канал I2C.

При цьому синтаксис оператора LAN однаковий для цього каналу й при програмній реалізації MicroLan на сигнальних лініях вводу/виводу. Інтерпретатор самостійно реалізує всі необхідні процедури обміну з DS2482-100 по I2C.

На додаток до DS2482-100 установлений зовнішній транзистор для ще більшого поліпшення характеристик каналу, особливо при використанні режимів «паразитного» живлення. Також передбачена окрема лінія для

живлення MicroLan пристроїв. Причому, користувач може вибрати видавану напругу +5В або +10В. Наявність варіанта +10В дозволяє заживлювати вилучені Lan пристрої із власними стабілізаторами. Максимальний відбиратися ток, що, по цій лінії ~100мА.

Конструкція використовуваного корпусу накладає деякі габаритні обмеження на кількість і розташування клемних роз'ємів. В зв'язку із цим, міцність ізоляції між каналом MicroLan і розташованим поруч силовим виходом OUT7, не більше 500В.

4.6.4 Сигнальні входи / виходи із джамперним полем

В контролері є 12 універсальних сигнальних ліній. Лінії не мають гальванічної розв'язки з мікроконтролером. Лінії виведені на гвинтові клеми групами по 4 з доповненням однієї загальної шини на групу. Кожна з ліній може працювати в декількох режимах. Вибір режиму здійснюється установкою відповідної кожної лінії джампера в певне положення й відповідну ініціалізацію. Відповідність комбінацій джамперів відповідним режимам наведено нижче в таблиці.

До кожної сигнальної лінії приєднано 2 виводи мікроконтролера. Одна - основна, через неї здійснюється ввід або вивід. Друга допоміжна, вона використовується для підключення резистора, – 1К до потенціалу 3.3В, або бере участь у створенні подільника вхідної напруги. Ця ж лінія може бути використана для роботи безпосередньо зі світлодіодами або оптопарами без обмежуючих резисторів. При цьому залежно від падіння напруги на світлодіоді, струм складе до 2мА.

Є положення джампера, що з'єднує клему безпосередньо з лінією мікроконтролера. Це необхідно при деяких варіантах режимів. Але в той же час - це саме «незахищене» включення. При цьому потенціал клеми не повинен виходити за межі живлення мікроконтролера 0...+3.3В. Самою «безпечною» комбінацією є відсутність перемички на відповідному

потрійному джампері. При цьому вхідна клема з'єднується з мікроконтролером через опір 24.3 К. Це дозволяє працювати із вхідними напругами до 24В з обмеженим захистом від переплюсовки.

Сигнальна лінія складається із двох частин: установки джамперів у відповідне положення й програмної ініціалізації. Програмна ініціалізація складається у виклику для кожної лінії оператора PIN із вказівкою обраного режиму. Режим запам'ятовується на сеанс для кожної лінії індивідуально. Після цього для роботи із вхідними лініями досить використовувати функції PIN і ADC.

4.6.5 Основні дискретні режими:

Режим плаваючого дискретного входу 0 / +3.3В.

При положенні джампера «зняте», забезпечує максимальний захист вхідних ланцюгів.

Режим дискретного входу з підтяжкою +3.3В / 1К («сухий контакт»).

Зручний для підключення схем з «відкритим колектором/стоком», механічних кнопок/перемикачів, герконів. Цей же режим використовується для програмної емуляції MicroLan 1-wire. Лінія може працювати як окремий промінь Lan-Мережі. Причому можливо підключення приладів з паразитним живленням. Цей режим оптимально використовувати для не дуже протяжних мереж. Для «важких» випадків рекомендується використовувати окремий гальванічно розв'язаний вузол (див. вище).

Режим дискретного входу з дільником 0 / +24В.

Це фактично третій аналоговий режим(див. нижче.). Він програмно емулює дискретний вхід. В ньому користувач може задавати пороги перемикання.

Перші два режими дозволяють використовувати деякі входи в режимі апаратних лічильників у рахунковому й енкодерних режимах.

4.6.6 Режими аналогового виміру:.

Аналоговий режим фотополяриметра входу $0 \dots 20 \dots 20 \text{mA}$.

Це самий зручний режим, що забезпечує максимальну перешкодозахищеність і до того ж практично максимальну розв'язну здатність - 12 біт. В цьому режимі вхідний джампер підключає до лінії резистор 160 Ом на землю. При цьому вхідний струм в 20 мА створює потенціал саме близько до кінця вимірюваного діапазону $\sim 3.2 \text{V}$.

Аналоговий режим потенційного входу $0 \dots +3 \dots 3 \text{V}$.

Цей режим, при положенні джампера «знятий», забезпечує максимальний захист вхідних ланцюгів. Забезпечується максимальна роздільна здатність - 12 біт.

Код ініціалізації збігається з першим аналоговим режимом, різниця - у положенні джамперів.

Аналоговий режим потенційного входу $0 \dots +10 \text{V} (+24 \text{V})$.

Вхідний ланцюг при цьому режимі, це дільник із програмно включеним нижнім плечем дільника. Виходить дільник $24.3 \text{K} - 1 \text{K}$. Роздільна здатність для діапазону $0 \dots +10 \text{V}$ за рахунок дільника зменшується до ~ 9 біт.

Режим роботи з термодатчиками PT1000.

Для цього режиму призначено чотири лінії (див. табл.).

Вимір проводиться за напівмостовою схемою з верхнім плечем 1K підключених до $+3.3 \text{V}$.

З PT1000 можуть працювати всі 12 ліній, але в зазначених чотирьох є можливість корекції помилки виникаючої у зв'язку зі спаданням напруги на внутрішньому ключі при включенні лінії в режимі напівмоста. При інтерпретатор автоматично робить відповідні додаткові виміри й коректує результат.

При роботі з PT1000 на інших лініях користувач може самостійно зробити корекцію, але помилка виміру буде трохи вище, тому що можна врахувати тільки типові значення помилки, у той час як на спеціально

призначених лініях виробляється її точний вимір одночасний з основним виміром.

Для всіх аналогових режимів крім другого (безпосередній вимір входу), при звертанні до функцій вводу передбачена можливість індивідуальної для кожного режиму й лінії калібрування з автоматичною корекцією результату.

В деяких виконаннях MCX53.XX дві сигнальні лінії можуть працювати в режимі ЦАП $+0.5 \dots +10\text{В}$ / $1 \dots 20 \dots 20\text{мА}$. Варіант для кожної із цих ліній вибирається джампером. В цих виконаннях, ці лінії не можуть працювати в інших режимах.

4.6.7 Режими дискретного виходу.

Режим безпосереднього виходу мікроконтролера $\pm 25\text{ мА}/3.3\text{В}$.

Це максимально можливий струм окремої лінії, крім того загальні струми всіх вихідних ліній не повинні перевищувати 150мА . В цьому режимі 8 ліній можуть працювати як ШІМ.

Режим виходу через ІК.

Як ми вже відзначали, використовується додаткова лінія мікроконтролера. Режим зручно використовувати для роботи безпосередньо зі світлодіодами або оптопарами без обмежуючих резисторів.

При цьому залежно від падіння напруга на світлодіоді, струм складе до 2мА .

4.6.8 Силові виходи

В контролері є 8 однакових ізольованих силових виходів.

Залежно від виконання доступні варіанти:

- електромеханічне реле;
- оптореле;
- оптопара з / без детектором нуля;
- варіант додаткових дискретних входів з гальванічною розв'язкою.

Керування виходами здійснюється операторами $PIN(n) = 0$ -> виключити або $PIN(n) = 1$ -> включити, де $n = 24...31$.

4.6.9 Відлагоджувальний роз'єм.

Роз'єм скомпоноване із 4-х джамперів. Джампери розташовані так щоб мінімальним числом контактів зручно використовувати функції скидання, завдання BOOT-Режиму, роботи з SWD -відладчиком.

Для запуску Boot-loader і відновлення версії необхідно перед подачею живлення замкнути J3. Сама процедура відновлення описана нижче. SWD відладчик підключається до J4 і J1.

Для підвищення надійності нормальна робота модуля обрана коли відсутні всі джампери.

Для скидання потрібно короткочасно замкнути J1.

Для вибору Boot-loader STMicroelectronics J2 повинен бути замкнутий у момент скидання.

4.6.10 Роз'єм розширення.

На роз'єм розширення виведені сигнали локальних шин I2C / SPI , сигнали дублюючі клеми гальванічно не розв'язаного каналу RS485 / CAN і живлення +5V & GND. SPI реалізований програмно.

4.6.11 Елемент живлення для RTC

Для живлення годин реального часу й backup регістрів під час відсутності основного живлення використовується літєвий елемент. Тримач елемента CR2032 розташований над мікроконтролером. Елемент установлюється плюсом нагору - на контакт тримача є позначення «+».

4.6.12 Імпульсний стабілізатор(живлення вузла).

Для живлення MCX53.XX потрібне постійна напруга в діапазоні

9...24В. Залежно від партії контролерів можуть установлюватися різні типи імпульсних стабілізаторів з ідентичними параметрами.

На виході стабілізатора виходить +5В. Це основна напруга використовуване більшістю вузлів контролера.

Воно так само подається на роз'єм розширення, де допускається струм споживання до 500мА залежно від виконання MCX53.XX і вхідної напруги живлення. Оскільки у виконаннях з електромеханічними реле, вони заживлюються від стабілізованих +5В, вхідне напруга живлення контролера може бути кожним у всім припустимому діапазоні 9...24В.

Для варіантів зі схемою ЦАП у режимі 0...+10В мінімальне живлення +12В.

4.6.13 Схема формування сигналу ЦАП

Цей вузол установлюється в деяких виконаннях. В мікроконтролері STM32F103 є два 12 бітних ЦАП.

Вихідний сигнал від них лежить у діапазоні живлення мікроконтролера 3.3В с типовим «завалом» поблизу нуля порядку 80мВ. Цей сигнал подається на підсилювач і перетворювач напруга-струм. На виході виходять :

~0.5...+10В або ~1...20мА.

Конкретний варіант для кожного із двох каналів вибирається джампером.

В силу особливостей реалізації, не варто розглядати цей ЦАП як прецизійний. Але при цьому його параметри цілком підходять для безлічі застосувань.

На модулі встановлено три світлодіода. Два червоні й жовтий - це прийоми / передача по зовнішніх інтерфейсах UART1, UART3, CAN, USB.

Зелений указує на що мікроконтролер почав виконання програми.

Всі світлодіоди управляються програмно, у конкретній реалізації їхньої функції можуть бути змінені.

4.6.14 Призначення виводів роз'ємів

Модуль виконано як стандартний конструктив. В ньому нумерація наведена для варіанта клем із кроком 5мм.

Частина використовуваних нами клем має крок 3.81мм.

Таблиця 4.8 – Сигнальні входи / виходи

Номер виводу	Ім'я ланцюга	Ім'я функції	тип	Опис можливих функцій	PIN,LAN,ADC	PWM,BEEP
X1	GND	GND	GND	Загальний 0В		
X2	IO0	PA0 ADC0 TIM2_CH1_ETR	I / O I-AN I / O	Цифровий вхід/вихід порт PA; Вхід АЦП ADC123_IN0; Таймер 2 лінія TIM2_CH1_ETR	0	21
X3	IO1	PA1 ADC1 TIM2_CH2	I / O I-AN I / O	Цифровий вхід/вихід порт PA; Вхід АЦП ADC123_IN1; Таймер 2 лінія TIM2_CH2	1	22
X4	IO2	PA2 ADC2 TIM2_CH3	I / O I-AN I / O	Цифровий вхід/вихід порт PA; Вхід АЦП ADC123_IN2; Таймер 2 лінія TIM2_CH3	2	23
X5	IO3	PA3 ADC3 TIM2_CH4	I / O I-AN I / O	Цифровий вхід/вихід порт PA; Вхід АЦП ADC123_IN3; Таймер 2 лінія TIM2_CH4	3	24
X6	GND	GND	GND	Загальний 0В		
X7	IO4	PA4 ADC4 DAC1	I / O I-AN AN	Цифровий вхід/вихід порт PA; Вхід АЦП ADC12_IN4; Вихід ЦАП DAC1	4	
X8	IO5	PA5 ADC5 DAC2	I / O I-AN AN	Цифровий вхід/вихід порт PA; Вхід АЦП ADC12_IN5; Вихід ЦАП DAC2	5	
X9	IO6	PA6 ADC6 TIM3_CH1	I / O I-AN I / O	Цифровий вхід/вихід порт PA; Вхід АЦП ADC12_IN6; Таймер 3 лінія TIM3_CH1	6	31
X10	IO7	PA7 ADC7 TIM3_CH2	I / O I-AN I / O	Цифровий вхід/вихід порт PA; Вхід АЦП ADC12_IN7; Таймер 3 лінія TIM3_CH2	7	32

Продовження таблиці 4.8						
X11	GND	GND	GND	Загальний 0В		
X12	IO8	PB0 ADC8 TIM3_CH3	I / O I-AN I / O	Цифровий вхід/вихід порт PB; Вхід АЦП ADC12_IN8; Таймер 3 лінія TIM3_CH3	8	33
X13	IO9	PB1 ADC9 TIM3_CH4	I / O I-AN I / O	Цифровий вхід/вихід порт PB; Вхід АЦП ADC12_IN9; Таймер 3 лінія TIM3_CH4	9	34
X14	IO10	PC0 ADC10	I / O I-AN	Цифровий вхід/вихід порт PC; Вхід АЦП ADC123_IN10	10	
X15	IO11	PC1 ADC11	I / O I-AN	Цифровий вхід/вихід порт PC; Вхід АЦП ADC123_IN11	11	
X16	GND	GND	GND	Загальний 0В		

GND - загальний;

I / O - вхід / вихід;

I-AN - аналоговий вхід;

O-AN - аналоговий вихід.

Та або інша функція лінії автоматично вибирається при використанні конкретних операторів / функцій інтерпретатора або шляхом запису у відповідні регістри спеціальних функцій необхідних установок.

За замовчуванням всі лінії працюють у режимі **входів** портів вводу-виводу.

Функції «за замовчуванням» виділені жирним шрифтом. В таблицях представлені не всі можливі функції ліній вводу-виводу.

Таблиця 4.9 – Живлення

Номер	Ім'я ланцюга	Опис
X17	GND	загальний
X18	+9...+24В	напруга живлення +9...+24В

Таблиця 4.10 – Силові виходи

Номер виводу	Ім'я ланцюга	Опис	BASIC -> PIN
X19-X20	OUT_0	Силовий вихід 0	24
X21-X22	OUT_1	Силовий вихід 1	25
X23-X24	OUT_2	Силовий вихід 2	26
X25-X26	OUT_3	Силовий вихід 3	27
X27-X28	OUT_4	Силовий вихід 4	28
X29-X30	OUT_5	Силовий вихід 5	29
X31-X32	OUT_6	Силовий вихід 6	30
X33-X34	OUT_7	Силовий вихід 7	31

Таблиця 4.11 – Гальванічно розв'язаний канал MicroLan (1-wire)

Номер	Ім'я ланцюга	Опис
X35	GGND	Загальний Lan
X36	Lan	Канал Lan
X37 + (J27 = 2-3)	5B	Живлення лінії Lan
X37 + (J27 = 1-2)	10B	Живлення лінії Lan

Таблиця 4.12 – Канал міжмодульного з'єднання

Номер	Ім'я ланцюга	Опис
X38	X-	RS485 X- або CANL
X39	X+	RS485 X+ або CANH
J17	Term	замкнутий – термінатор підключений; за замовчуванням розімкнутий
J18	X+ до +5B	замкнутий -> X+ підтягує до +5B через 1кОм; за замовчуванням замкнута
J19	X- до GND	замкнутий -> X- підтягує до GND через 1кОм; за замовчуванням замкнута

Таблиця 4.13 – Гальванічно розв'язаний канал RS485

Номер	Ім'я ланцюга	Опис
X40	X-	RS485 X-
X41	X+	RS485 X+
J24	Term	замкнений – термінатор підключений; за замовчуванням розімкнений
J25	X+ до +5B	замкнений → X+ підтягує до +5B через 1кОм; за замовчуванням розімкнений
J26	X- до GND	замкнений → X- підтягує до GND через 1кОм; за замовчуванням розімкнений

Таблиця 4.14 – Роз'єм X42 (USB)

Номер виводу	Ім'я ланцюга	Опис
1	U_BUS	Живлення USB +5B
2	D-	DATA -
3	D+	DATA +
4	NC	не підключений
5	GND	Земля 0B

Таблиця 4.15 – Роз'єм розширення X43

Номер	Ім'я	Опис
1	+5B	Живлення +5B
2	+5B	Живлення +5B
3	X+	RS485 X+ або CANH канал міжмодульного з'єднання (X39)
4	SCL	Резервний канал I2C (SPI → SCK)
5	X-	RS485 X- або CANL канал міжмодульного з'єднання (X38)
6	SDA	Резервний канал I2C (SPI → SDI)

Продовження таблиці 4.15		
7	CS	Резервний канал SPI
8	SDO	Резервний канал SPI
9	GND	загальний
10	GND	загальний

Таблиця 4.16 – Відлагоджувальний роз'єм / Джампери (група налагодження)

J20	RESET	замкнутий – сигнал RESET активний; за замовчуванням розімкнутий; контакт 1 -> RESET ; контакт 2 -> GND
J21	BOOT0	замкнутий – сигнал BOOT0 = 1; за замовчуванням розімкнутий (BOOT0 = 0) ; контакт 1 -> BOOT0; контакт 2 -> +3.3В
J22	BOOT1	замкнутий – сигнал BOOT1 = 1; за замовчуванням розімкнутий (BOOT1 = 0) ; контакт 1 -> +3.3В ; контакт 2 -> BOOT1
J23	SWD	Контакти для підключення SWD -відладчика; контакт 1 -> SWC ; контакт 2 -> SWD

Таблиця 4.17 – Комбінації джамперів режимів старту

BOOT1	BOOT0	Режим
0	0	Старт -BASIC-Cortex
0	1	Запускається заводський Boot-loader STMicroelectronics
1	0	Запускається Boot-loader

Таблиця 4.18 – Комбінації джамперів для виходів ЦАП

DAC1	DAC2	Режим
J14 = 1-2	J16 = 1-2	1...20...20мА
J14 = 2-3	J16 = 2-3	+0.5.....+10В

4.6.15 Робота з модулем

MCX53.XX може використовуватися як самостійно, так і в складі групи контролерів у якості master або slave контролера. В свою чергу, обое ці варіанта можуть бути автономними або підключеними до вищестоящої мережі.

Послідовність включення, що рекомендується, для варіанта єдиного контролера:

1. необхідно встановити всі джампери відповідно до обраної конфігурації входів
2. підключити USB і записати програму
3. при першому включенні оператором RLDT установити час і дату
4. відключити USB
5. виконати підключення всіх сигнальних ліній і навантажень
6. підключити джерело живлення 9...24В
7. подати живлення

Імовірно, при налагодженні, може знадобитися використання підключення до комп'ютера, уже підключеного контролера. Тут потрібно звернути увагу на те, що в контролері канал USB не має гальванічної розв'язки із сигнальними лініями й живленням контролера. Не допускається підключення USB «на ходу» при поданому живленні на контролер.

Підключення USB у цьому випадку, потрібно робити при виключеному живленні контролера й датчиків (якщо такі є). Після підключення до комп'ютера, можна включити живлення контролера (і датчиків).

Послідовність включення, що рекомендується, для варіанта групи контролерів:

Послідовність як і для одного, тільки в пункт 5 додається міжконтролерне з'єднання, з врахуванням того, що міжмодульний канал не

має гальванічної розв'язки із сигнальними лініями й живленням. Живлення в цьому випадку зручніше подавати від одного джерела.

Вищестояща мережа може підключатися «на ходу» до гальванічно розв'язаного каналу RS485. При необхідності цей канал можна використовувати й для міжконтролерного з'єднання, якщо в групі потрібна гальванічна розв'язка між сигнальними лініями різних контролерів. В цьому випадку живлення цих контролерів теж повинне мати розв'язку.

4.6.16 Підключення до комп'ютера

Перед першим підключенням модуля до систем з операційною системою Windows необхідно встановити драйвер віртуального COM-Порту STMicroelectronics. Для систем з Linux установка спеціального драйвера не потрібно.

Драйвер VCP для Windows доступний на сайті STMicroelectronics. Після цього через кабель USB A-miniB підключити модуль до комп'ютера. Операційна система знайде й установить новий пристрій. В системі з'явиться VCP -> віртуальний COM порт. Надалі при налаштуванні термінала для роботи з модулем, необхідно буде вказати цей порт.

Якщо необхідно, що вийшов номер COM порту можна змінити, зайшовши в диспетчер пристроїв і вибравши цей канал.

При наступних підключеннях модуля буде з'являтися COM порт із цим же номером. Якщо буде підключений інший контролер, то в системі з'явиться інший COM порт. Параметри каналу: швидкість 115200 бод, 8 біт, 1 стоп біт, без парності, апаратний контроль.

Зверніть увагу - при запуску Boot-loader для відновлення версії - BASIC-Cortex або інших цілей, номер COM порту швидше за все буде іншим чим при підключенні в режимі -BASIC-Cortex.

5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Моделювання Smart Home у програмі LabVIEW

LabVIEW — це інструмент віртуального приладобудування (VI), який дає змогу графічно створювати моделі та досліджувати процеси і розробки. LabVIEW – це потужний інструмент інструментального програмного забезпечення для багатоцільового аналізу, вимірювань і автоматизації. Графічний інтерфейс користувача LabVIEW дозволяє легко побудувати блок-схему алгоритму роботи. Користувач задає вимоги до інструментів пристрою і може легко його змінити за допомогою інструменту GUI.

LabVIEW – це програмне забезпечення для додатків, які вимагають тестування, вимірювання та контролю зі швидким доступом до апаратного забезпечення та даних. Великою перевагою використання техніки програмування LabVIEW є той факт, що вона охоплює всі сфери, необхідні для повного керування будь-якою системою, наприклад, отримання та аналіз цих даних для виконання необхідних дій.

Синтаксис кодування для LabVIEW називають G-мовою, яка використовує графічні блоки, блок-схеми для представлення кожного процесу. Загальний аналоговий модуль даних призначений для використання з датчиками. Датчики, які використовуються в системі, управляються за допомогою блоку Raspberry Pi. Канал аналогового зчитування N дозволяє перевизначати аналогову опорну напругу, яка використовується для перетворення АЦП, як показано на рис. 5.1. Загальний модуль цифрових даних призначений для взаємодії з цифровими каналами вводу/виводу Raspberry Pi, розробки віртуальних каналів керування та зчитування станів перемикачів (увімкнення/вимкнення), як показано на рис. 5.2. Колір освітлення контролюється за допомогою каналу широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), оскільки є задані канали кольору синій, зелений і червоний, як показано на рис. 5.3

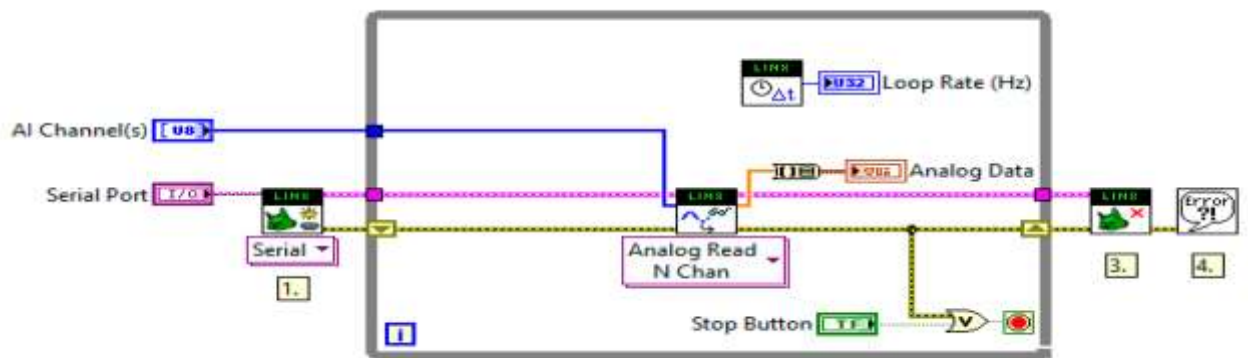


Рисунок 5.1 – Аналоговий канал читання N для всіх аналогових датчиків.

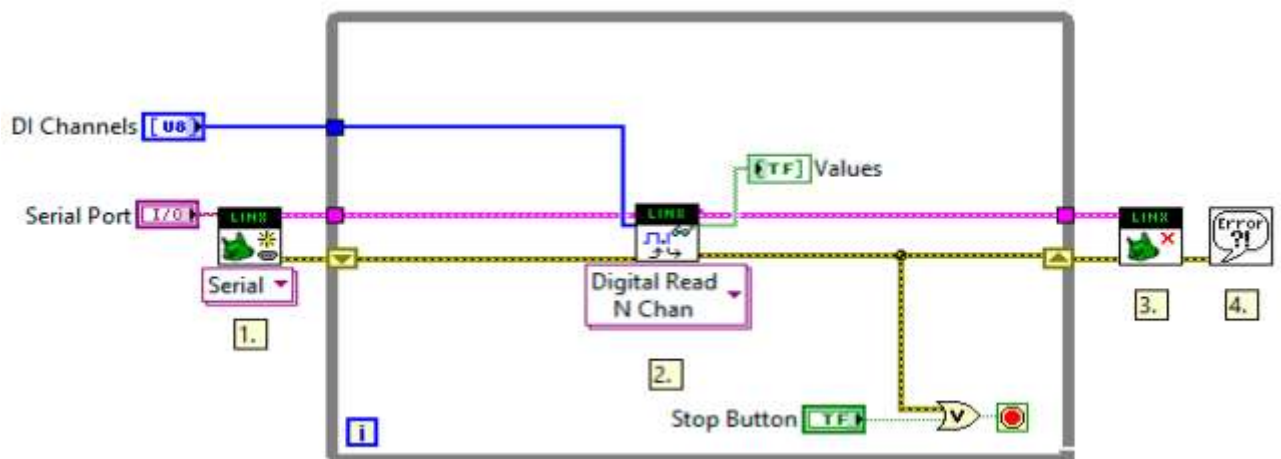


Рисунок 5.2 – Цифровий канал читання N для всіх цифрових датчиків.

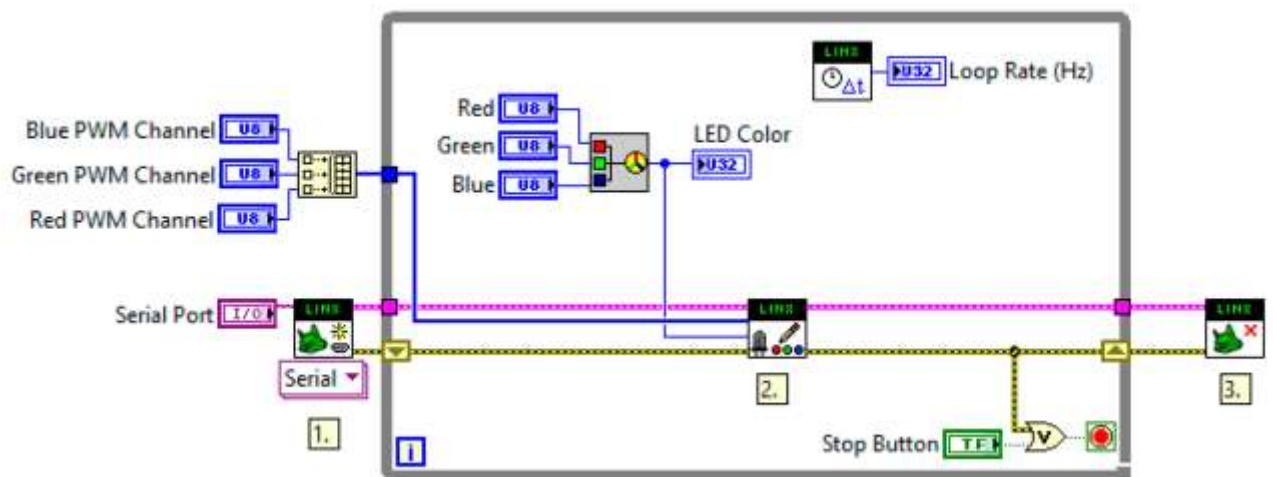


Рисунок 5.3 – Модуль керування світлодіодним освітленням RGB.

Розроблено інтегровану систему, яка поєднує LabVIEW, Raspberry Pi та Z-Wave. Всі прилади і датчики підключаються до системи. Вона містить системи безпеки, керування світлом, газову, пожежну сигналізацію та захист від протікання води, як показано на рис. 5.4. Система розроблена для

заощадження енергії використовуючи створені алгоритми управління енергоспоживанням.

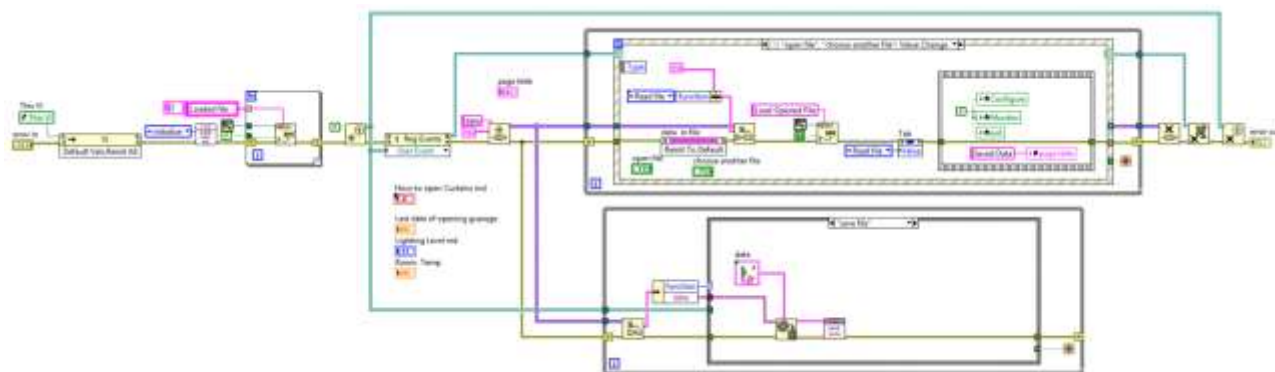


Рисунок 5.4 – Блок-схема віртуального інструментарію збору даних LabVIEW.

Розроблено графічний інтерфейс користувача, за допомогою якого створюються апаратні конфігураційні пристрої, де визначаються мінімальна та максимальна температури, регулюється інтенсивність освітлення, а також визначається відповідний час для відкривання та закривання жалюзі та вікон. Спроектowano систему, яка за допомогою обробки зображень зчитує номер автомобіля власника, оскільки гараж відкривається автоматично, щойно номер автомобіля визначається. За допомогою графічного інтерфейсу зберігається кілька сценаріїв роботи системи. Обраний сценарій, який потрібно активувати клієнту, викликається через відкривання збереженого файлу, як показано в Додатках 1, 2 .

Запропонована HAMS проста у використанні, високонадійна та має низьку вартість порівняно з іншими системами. Методика контролю полягає у вимірюванні температури, тиску та вологості повітря всередині будинку, управлінні всіх побутових приладів. Вологість і температура в графічному вигляді показані на рис. 5.5–5.6 відповідно.

Реалізовані PIR-датчики підключені до Raspberry Pi Cam, що дозволяє власнику перевіряти стан будинку в прямому ефірі, в разі виявлення будь-якого руху. Дверний замок управляється дистанційно.

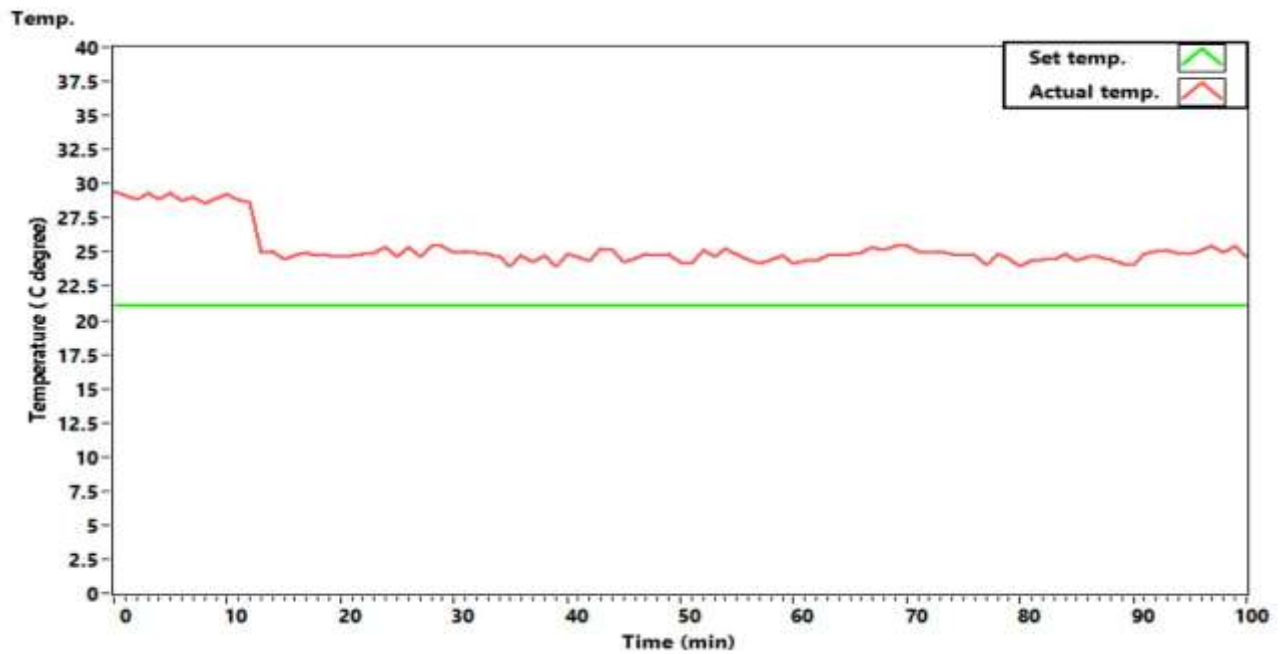


Рисунок 5.5 – Графік температури.

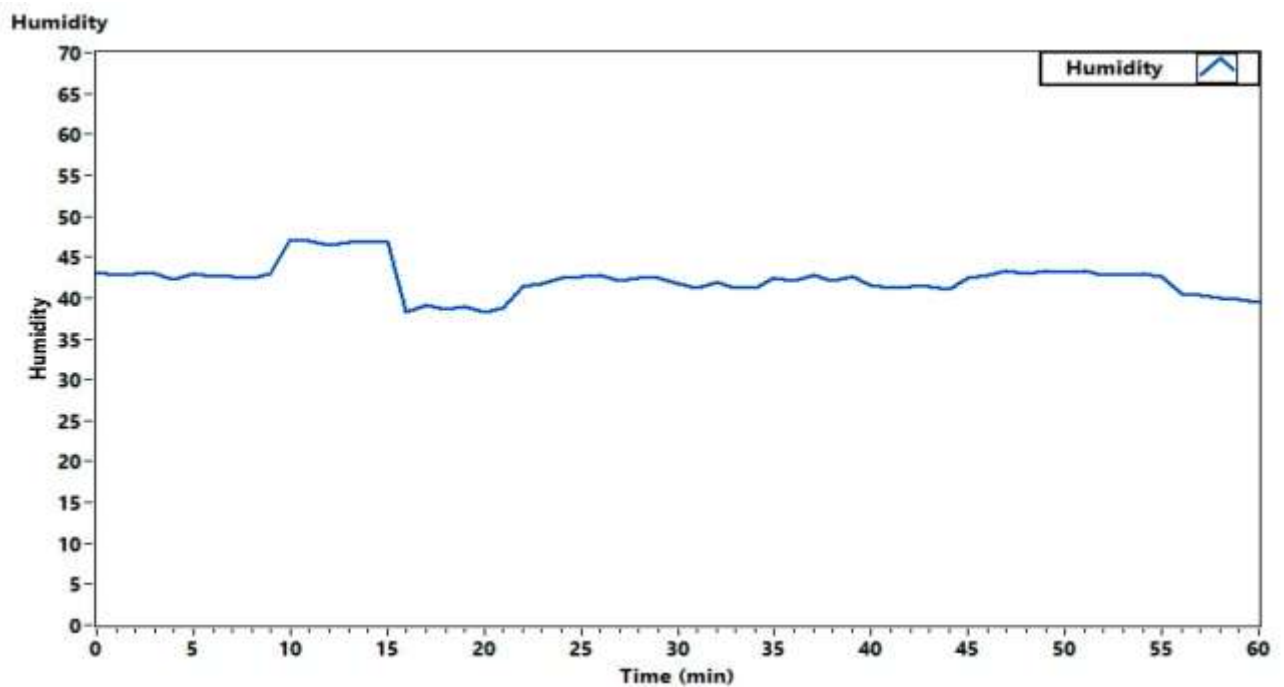


Рисунок 5.6 – Графік вологості

5.2 Управління споживанням електроенергії побутовою технікою в Smart Home за допомогою алгоритмів HAMS.

Споживач є відповідальним за контроль споживання і навантаження енергосистеми. Контролер запрограмований на вмикання або вимикання пристроїв, коли температура, вологість або інші фактори досягають певного

значення, яке визначає користувач. Побутові навантаження класифікуються за трьома категоріями: фіксовані прилади, пересувні прилади та гнучкі прилади. Ця класифікація базується на пріоритеті кожного пристрою та зручності користувача. Аналіз побутових приладів для Smart House та їх класифікація наведені в таблиці 5.1. Прилади класифікують і по інших критеріях: безперервні, працюють не залежно від перебування мешканця вдома; прилади, які працюють, коли людина перебуває лише вдома; третій тип це, – прилади, які працюють лише за запитом, як показано в таблиці 5.1. Крім того, коли люди знаходяться в будинку, HAMS керує приладами та освітленням відповідно до показань датчиків.

При використанні HAMS для оптимізації роботи будинку він обирає задані точки для джерел таким чином, що економічно оптимізоване розподілення потужності підтримується для забезпечення певного навантаження. Розроблено HAMS на основі IoT, який дозволяє пристроям підключатися за допомогою бездротових протоколів.

HAMS, або GAMS (General Algebraic Modeling System), — це система для формулювання та вирішення моделей оптимізації. Вона використовується в різних галузях, включаючи економіку, бізнес, інженерію та науку, для аналізу складних систем і прийняття рішень. HAMS надає користувачам можливість описувати моделі за допомогою зрозумілої математичної мови та вирішувати їх за допомогою різних алгоритмів оптимізації.

Таблиця 5.1 – Техніка, що використовується в побуті досліджуваного прикладу.

Прилад	Тип приладу	Числа	Споживана потужність (Вт)	Час роботи на день (год)	Споживання енергії на день (Вт·год)	Попередньо визначений графік роботи		
						Всередині	геть	сон
Водяний насос	Еластичний прилад	1	200	3	600	За бажанням	Вимкнено	Вимкнено
Холодильник		1	100	24	1800 рік	Увімкнено	Увімкнено	Увімкнено
Кондиціонер		2	1500	7		За бажанням	Вимкнено	За бажанням
Пилосос		1	700	2	1400	За бажанням	Вимкнено	Вимкнено
Водонагрівач		1	1200	3	3600	За бажанням	Вимкнено	Вимкнено
Обігрівач приміщення		1	1500	6	9000	За бажанням	Вимкнено	Вимкнено
Пральна машина	Пересувний прилад	1	700	3	2100	За бажанням	За бажанням	Вимкнено
Сушарка для тканини		1	2000 рік	1	2000 рік	За бажанням	За бажанням	Вимкнено
Посудомийна машина		1	1800 рік	2	3600	За бажанням	Вимкнено	Вимкнено
вентилятор	Стационарний прилад	4	80	21	6720	За бажанням	Вимкнено	За бажанням
телевізор		2	100	10	2000 рік	За бажанням	Вимкнено	Вимкнено
світло		20	11	16	3520	За бажанням	Вимкнено	Вимкнено
мікрохвильовка		1	800	3	2400	За бажанням	Вимкнено	Вимкнено

Запропонована система допомагає економити енергію, відстежуючи стан навколишнього середовища та відповідно контролюючи використання

обладнання. Це дозволяє бездротовими пристроями керувати такими приладами, – як вентилятори, обігрівачі, кондиціонери та лампи, на основі інформації про вологість, температуру та інтенсивність світла. Згідно з показаннями кожного датчика, Raspberry Pi програмується на контроль використання пристрою відповідним чином. Ці дані допомагають оптимально керувати пристроями, а не просто вмикати та вимикати їх, що сприяє зменшенню споживання, оскільки скорочується час роботи приладів. Крім того, запропонований HAMS зберігає дані про щоденне споживання енергії, що допомагає власнику оптимально налагоджувати.

Ці дані оновлюються автоматично, і це допомагає досягти низьких експлуатаційних витрат. Використання HAMS допомагає зменшити експлуатаційні витрати, оскільки зменшує кількість споживаної енергії. Споживання знизилося після використання запропонованої системи на 18,161 кВт/год. На рис. 5.7 показано навантаження протягом цілої доби до та після використання запропонованої системи.

Операційні витрати за день склали приблизно 20,866 до використання HAMS, тоді як їх вартість становила близько 16,039 після використання HAMS. Відбулося зниження операційних витрат приблизно на 23,13%.

На рис. 5.8 показано споживане навантаження, котре необхідно забезпечити, а також приведено потужність з різних джерел надходження. Під час пікового навантаження будинок живиться через фотоелектричну систему. Фотоелектрична система виробляє енергію в період з 6 ранку до 6 вечора. У цей період домівка живиться від фотоелектричної системи, а надлишки спрямовуються на зарядку акумуляторів. До цього періоду і після нього за процес живлення відповідають акумуляторні батареї. Площа поверхні, необхідна для генерації достатньої кількості енергії для живлення навантажень від сонячних батарей за найменших витрат, становить 64,39 м², що становить приблизно 23,62% від загальної площі поверхні даху будинку. Кількість виробленої енергії залежить від інтенсивності сонячного

опромінення та площі поверхні, і оскільки площа поверхні постійна, вона залежить виключно від другого фактору.

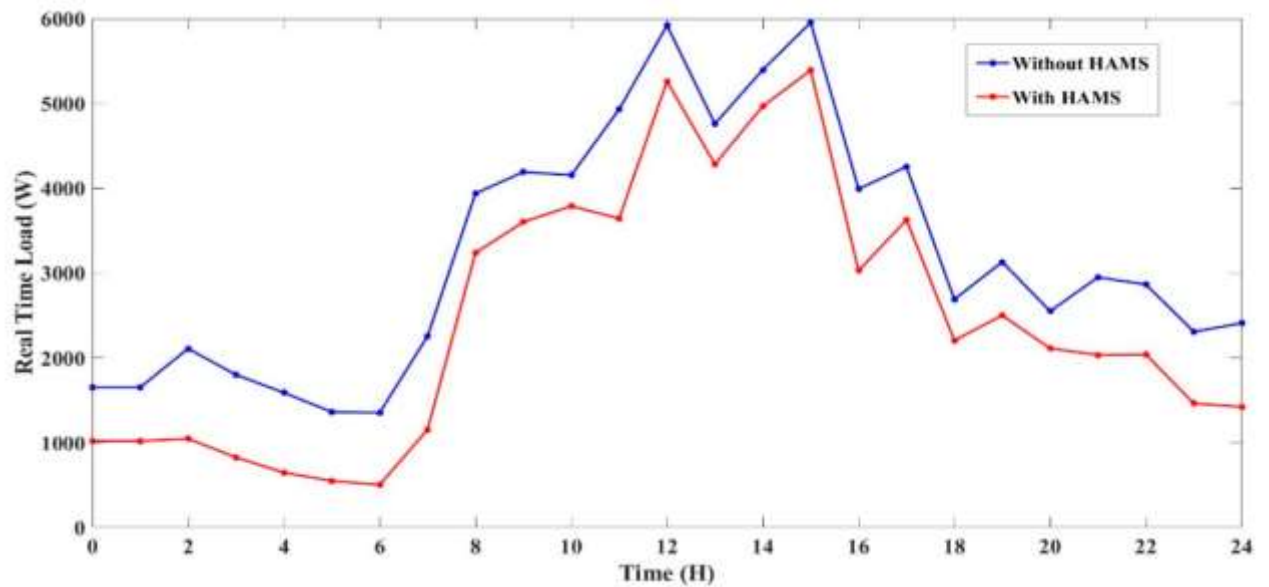


Рисунок 5.7 – Навантаження в реальному часі протягом доби з і без використання HAMS.

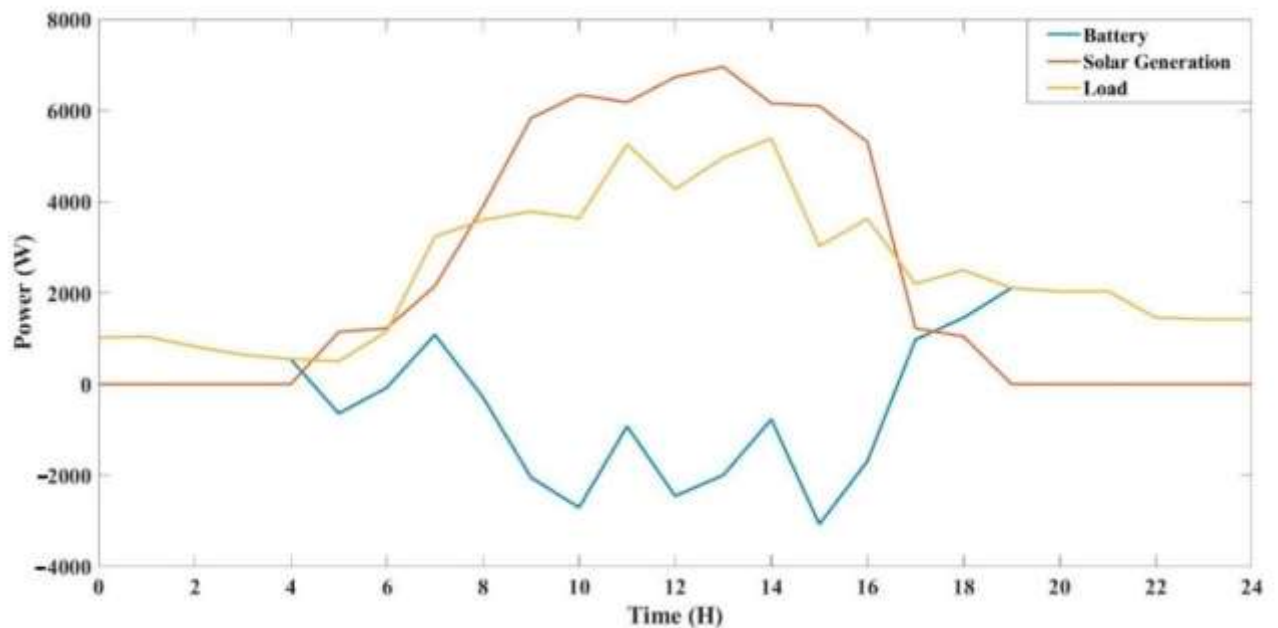


Рисунок 5.8 – Оптимальна робота та керування гібридними PV та ESS.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Законодавство України покладає на всіх роботодавців обов'язок щодо забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці. Витрати на охорону праці на підприємстві згідно зі ст. 19 Закону «Про охорону праці» повинні становити не менше 0,5% від фонду оплати праці за попередній рік, а за невиконання законодавства про охорону праці до підприємства можуть бути застосовані санкції аж до заборони його експлуатації.

Створення служби охорони праці.

Згідно зі ст. 15 Закону «Про охорону праці» така служба обов'язково повинна бути створена на підприємстві з кількістю працюючих 50 і більше осіб у відповідності з Типовим положенням про службу охорони праці, затверджене наказом Держкомітету з нагляду за охороною праці від 17.11.2004 р. № 257. На підставі цього документа також має бути розроблено Положення про службу охорони праці цього підприємства, визначено структуру такої служби, її чисельність, основні завдання, функції та права її працівників. Крім того, повинні бути затверджені посадові інструкції посадових осіб служби, що визначають їх обов'язки, права та відповідальність за виконання покладених на них функцій.

На підприємствах з кількістю працівників менше 50 чоловік функції служби охорони праці можуть виконувати в порядку сумісництва (суміщення) особи, які мають відповідну підготовку. А на підприємствах з кількістю працівників менше 20 для виконання функцій служби охорони праці можуть на договірних засадах залучатися сторонні фахівці, які мають не менше трьох років виробничого стажу і пройшли навчання з охорони праці.

Розробка та затвердження на підприємстві положення, інструкцій та інших актів з охорони праці.

Обов'язок роботодавця за твердженням таких документів передбачений

в ст. 13 Закону «Про охорону праці». Вони повинні встановлювати правила виконання робіт і поведінки працівників на території підприємства, у виробничих приміщеннях, на будівельних майданчиках і робочих місцях. Інструкції та інша документація з охорони праці розробляються на підставі положень законодавства з охорони праці, типових інструкцій та технологічної документації підприємства з урахуванням виду діяльності підприємства і конкретних умов праці на ньому.

При проведенні вимірювань користуватись інструкцією з охорони праці при виконанні вимірювань в електроустановках напругою до 1000В електровимірювальними приладами

6.1 Загальні положення по охороні праці

Дані положення по охороні праці розроблені на підставі:

Положення про розробку інструкцій з охорони праці ДННОП 0.00-4-15-98. Наказ Держ. нагляд охорони праці №9 від 29.01.98р.

Правил безпечної експлуатації електроустановок.

Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

Положення про "Навчання, інструктаж і перевірку знань працівників підприємств і організацій Міненерго України з питань охорони праці та експлуатації обладнання".

Правил безпеки при роботі з інструментами та пристосуваннями.

Правил застосування і випробування засобів захисту, що використовуються в електроустановках

Інструкції з надання першої допомоги потерпілому в зв'язку з нещасним випадком при обслуговуванні електричного обладнання.

До робіт по виконанню вимірювань електровимірювальними приладами в електроустановках напругою до 1000В допускаються особи, які у встановленому порядку пройшли медичний огляд, вступний і первинний інструктажі, навчання, перевірку знань з ПБЕЕ, ПБЕЕС, ПУЕ, ПТЕ, ППБ, ПЕЕЗ ПЕРШ, керівництва з експлуатації електровимірювальних приладів та

даної інструкції.

Особи, що не досягнули 18-річного віку, не пройшли навчання та перевірку знань до роботи не допускаються.

Працівники служб енергозбуту, допущені до вимірювальних робіт електровимірювальними приладами в електроустановках до 1000 В, несуть повну відповідальність за виконання вимог даної інструкції та інших чинних нормативних документів.

Працівники повинні вміти звільняти потерпілого від дії електричного струму, надавати долікарську допомогу в разі одержання потерпим електротравм, переломів, вивихів, укусів тварин, забоїв, опіків, обморожень, отруєнь тощо.

Забороняється проведення вимірювань у випадку наближення та проходження грози.

Роботи по виконанню вимірювань електровимірювальними приладами відносяться до робіт під напругою і проводяться за розпорядженням двома працівниками з групою III. Забороняється самовільне виконання робіт, а також розширення робочого місця, визначеного розпорядженням.

Основними небезпечними факторами при проведенні вимірювальних робіт є:

- наявність робочої напруги на струмовідних частинах;
- поява електричної дуги при коротких замиканнях в колах вимірювання;
- підвищена напруга у вторинних колах трансформаторів струму при випадковому розмиканні (обриві) вторинного кола;
- падіння з висоти при порушенні вимог безпеки під час виконання вимірювань на висоті

6.2 Вимоги безпеки перед початком робіт

При виконанні вимірювання електровимірювальними приладами (далі-приладами) в електроустановках, що належать установі, розпорядження на безпечне виконання робіт віддається керівниками або спеціалістами установи, які мають право давати такі розпорядження. Роботи виконуються двома працівниками енергопостачальника з групою Ш.

При виконанні вимірювання приладами в електроустановках споживача розпорядження безпечне виконання робіт віддається електротехнічними працівниками споживача, які мають право давати розпорядження. В електроустановках споживачів роботи з вимірювання приладами може виконувати один працівник установи з групою Ш у супроводі оперативного працівника електроустановки споживача з групою Ш.

На виконання робіт з вимірювань в електроустановках споживачів, які не мають обслуговуючого персоналу, розпорядження віддається керівниками або спеціалістами установи, які мають право давати розпорядження. Роботи виконуються двома працівниками енергопостачальної організації з групою Ш.

Роботи по розпорядженню слід реєструвати у "Журналі обліку робіт за нарядами і розпорядженнями".

В електроустановках без місцевого оперативного персоналу у тих випадках, коли допуск на робочому місці не потрібний, допуск до роботи здійснюється керівником робіт.

Перед початком вимірювань приладами необхідно відгородити розташовані поблизу робочого місця струмовідні частини, що перебувають під напругою, до яких можливий випадковий дотик.

Забороняється працювати в одязі з короткими або закоченими рукавами. Рукави повинні бути застібнуті біля кисті рук.

Керівник роботи повинен оглянути стан приладів, інших засобів захисту, звернувши увагу на стан ізоляції, відсутність тріщин і сколів ізоляції на приладах трансформаторів струму, на корпусі та інших частинах приладу.

Необхідно також оглянути стан ізоляції щупів, які поставляються разом із приладами. Щупи можуть бути замінені тільки на такі ж, або на інші з тими ж електричними параметрами.

Для вимірювань слід застосовувати кліщі з приладом, що встановлений на їх робочій частині. Використання кліщів з винесеним приладом забороняється.

Працівників, що проводять вимірювання, при допуску до роботи інструктує керівник робіт з питань безпечного проведення роботи, використання приладів, технології проведення вимірювань.

Без інструктажу допускати працівників до роботи забороняється.

Забороняється допуск до роботи працівників з ознаками алкогольного або наркотичного оп'яніння, хворих.

Перед підняттям на драбину, вона повинна бути ретельно перевірена.

Використання металевих несправних драбин та інших несправних засобів підняття на висоту і виконання вимірювань з них категорично забороняється.

Кожен працівник зобов'язаний виконувати вимоги даної інструкції, інших нормативних документів з охорони праці, а також інструктивні вказівки, отримані під час допуску до роботи.

6.3 Вимоги безпеки під час роботи

Вимірювання можна проводити лише на ділянках шин, конструктивне виконання яких, а також відстань між стумовідними частинами різних фаз і між ними та заземленими частинами - виключають можливість електричного пробоя між фазами або на землю через зменшення ізоляційних відстаней за рахунок робочої частини кліщів.

Вимірювання приладами на шинах слід виконувати, стоячи на підлозі в діелектричних калошах, ботах або на ізольованій підставці чи на гумовому діелектричному килимку.

Під час роботи з електровимірювальними приладами, показниками напруги допускається наближення людини до струмовідних частин на відстань, визначену довжиною їхньої ізолюваної частини.

В темний період доби або в темних місцях ділянки робіт, робочі місця, підходи до них слід освітлювати. Забороняється працювати в неосвітлених місцях.

Під час пофазного вимірювання струмів з допомогою кліщів у разі горизонтального розташування фаз необхідно перед проведенням вимірювань обгородити кожен фазу ізолюючою прокладкою. Вказані операції проводяться в діелектричних рукавичках.

Кліщі необхідно тримати у висячому положенні. Забороняється схилитися до приладу під час відліку показів.

У випадку роботи з приладами, коли можливе випадкове доторкання до струмопровідної частини при заведенні кліщів трансформатора струму за шину, необхідно користуватися діелектричними рукавичками.

Під час проведення вимірювань забороняється торкатися приладу, проводів, вимірювальних трансформаторів.

Коли прилади приєднані до кола, що перевіряється, забороняється доторкатися до гнізд, що не використовуються.

Якщо порядок величин, яка перевіряється заздалегідь невідомий, то розпочинати перевірку слід з найбільшої межі вимірів.

Перед поверненням перемикача границь вимірів необхідно вимкнути щупи від кола, що перевіряється.

6.4 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

Якщо під час роботи виникає аварійна ситуація, то роботи по вимірюванню необхідно негайно припинити, зняти напругу з робочої ділянки електромережі. Повідомити про це чергового диспетчера установи, а в

електроустановках споживача відповідальний персонал споживача. Працівників з електроустановки вивести в безпечне місце.

При виникненні короткого замикання в лічильнику, загорянні вторинної комутації, необхідно негайно зняти напругу шляхом вимкнення ввідного комутаційного апарату (автоматичного вимикача, рубильника, зняття запобіжників), застосовуючи захисні засоби та дотримуючись вимог техніки безпеки.

При виникненні пожежі необхідно вжити заходів по запобіганню поширення пожежі, викликати пожежну охорону, повідомити про пожежу чергового диспетчера установи, а в електроустановках споживача - відповідальний персонал споживача і приступити до гасіння пожежі наявними засобами, дотримуючись вимог безпеки.

При попаданні людини під дію електричного струму необхідно негайно звільнити потерпілого від дії електричного струму шляхом вимкання електроустановки або її частини з допомогою наявних захисних засобів, дотримуючись вимог безпеки.

При наданні до лікарської допомоги необхідно діяти швидко, без будь-якої затримки, водночас вживши всіх заходів для виклику швидкої допомоги та повідомлення керівництва установи.

Надання до лікарської допомоги необхідно проводити безперервно до прибуття медичної допомоги.

У випадках легких травм та пошкодження або захворювання потерпілому необхідно забезпечити спокій, тепло і негайно відправити в лікарню, повідомити про випадок керівництво.

Відповідальність

За невиконання вимог даної інструкції винні несуть дисциплінарну, адміністративну та кримінальну відповідальність.

7 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1 Залежність розмірів осередків ураження від маси продуктів вибуху, (СДОР), їхнього тиску, метеоумов, і місцевості.

В комплексі заходів протихімічного захисту населення важливе місце займає оцінка радіаційної та хімічної обстановки . Володіння її методикою є прямим обов'язком начальників цивільної оборони , командирів формувань ЦО.

При аваріях, пов'язаних з виробництвом, зберіганням та транспортуванням сильнодіючих отруйних речовин (СДОР), може виникнути складна хімічна обстановка з утворенням зон хімічного зараження (ЗХЗ) та осередків хімічного ураження (ОХУ). Небезпека ураження населення в цих умовах вимагає швидкого виявлення СДОР і оцінки хімічної обстановки , а також періодичного її уточнення ,оскільки метеоумови можуть постійно змінюватись.

Тому командно-начальницький склад і особовий склад невоєнізованих формувань ЦО об'єктів господарської діяльності (ОГД) повинен досконало володіти методикою оцінки хімічної обстановки.

Хімічна обстановка - це обстановка, яка складається на території адміністративного району, населеного пункту чи ОГД внаслідок викиду (виливу) СДОР або застосування хімічної зброї, істотно впливає на життєдіяльність населення роботу ОГД, боєздатність формувань ЦО і вимагає вжиття необхідних заходів захисту.

Зона хімічного ураження включає ділянку розливу - територію, над якою поширюється первинна або вторинна хмара СДОР чи ОР в небезпечних для життя і здоров'я людей концентраціях . В зоні хімічного зараження може знаходитись один або більше осередків хімічного ураження. Осередок хімічного ураження - це територія, в межах якої внаслідок виливу СДОР

виникають масові ураження людей, сільськогосподарських тварин і рослин. ЗХЗ характеризується розмірами (глибиною і шириною) і площею, які залежать від кількості СДОР (ОР), їх виду, метеоумов, рельєфу місцевості, наявності на ній рослинності, типу і щільності забудови. Хімічну обстановку на ОГД виявляють пости (ланки) радіаційного і хімічного спостереження (ПРХС) та на хімічно небезпечних об'єктах - черговий диспетчер, який у випадку аварії повідомляє робітників і службовців об'єкту і доповідає в штаб ЦО міста (району).

Оцінка хімічної обстановки проводиться методом прогнозування (завчасно, при розробці плану ЦО об'єкту) і за даними розвідки.

При оцінці хімічної обстановки методом прогнозування приймається умова одночасного розливу (викиду) всього запасу СДОР (воєнний час) або із максимальної по об'єму одиничної ємності (в мирний час) при сприятливих для розповсюдження зараженого повітря метеоумовах (інверсія, швидкість вітру 1 м/с).

Оцінка хімічної обстановки за даними розвідки проводиться на основі конкретної обстановки, коли враховується фактична кількість вилитої СДОР і реальні метеоумови. Оцінка хімічної обстановки на ОГД передбачає:

- визначення розмірів і площі ЗХЗ;
- визначення часу підходу хмари зараженого повітря СДОР до об'єкту;
- визначення тривалості уражаючої дії СДОР;
- визначення можливих втрат населення в ОХУ.

Для оцінки хімічної обстановки необхідно мати такі вихідні дані:

вид і кількість СДОР; місце викиду СДОР; час викиду СДОР; ступінь захищеності людей (наявність захисних споруд, індивідуальних засобів захисту); топографічні умови місцевості і характер забудови на шляху розповсюдження хмари зараженого повітря (закрита чи відкрита місцевість); метеоумови; швидкість і напрямок вітру в приземному шарі, температура повітря і ґрунту, ступінь вертикальної стійкості повітря.

Розрізняють три ступені вертикальної стійкості повітря :

– інверсію - при ній нижні шари повітря холодніші за верхні, що перешкоджає переміщенню його по вертикалі і створює оптимальні умови для збереження високих концентрацій отруйних речовин (виникає у вечірній і нічний час при тихій погоді і швидкості вітру до 4м/с);

– конvekцію - нижні шари повітря нагріті більше ніж верхні, що сприяє переміщенню повітря по вертикалі, а значить зменшенню її уражаючої дії. Виникає вдень, при ясній погоді і швидкості вітру до 4м/с);

– ізотермію - температура повітря межах 20-30м від земної поверхні майже однакова (спостерігається в похмуру погоду, при опадах або при швидкості вітру більше 4м/с, а також як перехідний період від інверсії до конvekції навпаки).

7.2 Оцінка хімічної обстановки

Оцінку хімічної обстановки можна проводити за формулами і таблицями складеними відповідно до основних видів СДОР.

Радіоелектронні підприємства є небезпечними об'єктами третього ступеня по хімічній небезпеці, це означає, що зона зараження виходить за межі території об'єкту. В запасах даного об'єкту може бути нагромаджено до 150т соляної кислоти. Максимальний об'єм ємності становить 40т кислоти. Проведемо оцінку можливої хімічної обстановки в результаті руйнування 40-а тонної ємності соляної кислоти з чисельністю зміни 500 чоловік. На віддалі 1 км знаходиться житловий масив. Робітники і службовці протигазами забезпечені на 100%. Метеорологічні умови :

Інверсія : швидкість вітру -1м/с ; $t=20^{\circ}\text{C}$; $A^{\circ}=270^{\circ}$. Потрібно :

Оцінити хімічну обстановку, яка може скластися внаслідок аварії на час після аварії $N=1$ год;

Розв'язання:

Визначаємо глибину можливого зараження (Γ) і площу зараження (S)

Визначаємо еквівалентну кількість речовини в первинній хмарі :

$$Q_1 = K_1 \times K_3 \times K_5 \times K_7 \times Q_0 \quad (\text{т})$$

де $Q_0=40$ (т)

K_1 -коефіцієнт, який залежить від умов зберігання СДОР, $K_1=0$

K_3 -коефіцієнт рівний відношенню порогової токсодози соляної кислоти до порогової дози інших СДОР, $K_3=0.3$;

K_5 -коефіцієнт, який враховує ступінь вертикальної стійкості повітря (інверсія=1);

K_7 -коефіцієнт, який враховує вплив температури повітря $K_7=1$

Отже $Q_1=0$

Визначаємо еквівалентну кількість речовини у вторинній хмарі :

$$Q_2 = (1 - K_1) \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5 \times K_6 \times K_7 \times Q_0 / h \times d \quad (\text{т})$$

де K_2 -коефіцієнт, який залежить від фізико-хімічних властивостей СДОР , $K_2=0,021$; K_4 - коефіцієнт, який враховує швидкість вітру ; K_6 - коефіцієнт, який залежить від часу, що минув від початку аварії. $K_6=1$,

при $N=1$

$Q_2=4,2$ (т)

І Оі-4.2 (т)."

Глибина зони зараження первиною (вторинною) хмари визначається в залежності від еквівалентної кількості речовини і швидкості вітру.

Повна глибина зони зараження $\Gamma_{\text{п}}$ (км) визначається :

$$\Gamma_{\text{п}} = \Gamma_{1(2)} + 0.5 \Gamma_{2(1)} \quad \text{км};$$

де $\Gamma_{1(2)}$ - найбільший із розмірів Γ_1 і Γ_2 , $\Gamma_{2(1)}$ - найменший із розмірів Γ_1 і Γ_2 , $\Gamma_{\text{п}}=11,25\text{км.}$, $\Gamma_{\text{п}}=N \times V$, $N=1\text{год}$ за табл. 11 [11] $V=5\text{км/год}$ (при швидкості повітря 1м/с); $\Gamma_{\text{п}}=5\text{км}$;

Площа зони зараження. Площа зони можливого зараження первиною (вториною) хмари визначається :

$$S_{\text{м}} = 8,72 \times 10^3 \times \Gamma_{\text{н}}^2 \times \chi f \quad (\text{км}^2)$$

де $S_{\text{м}}$ -площа зони можливого зараження СДОР, км^2 ;

Γ_n - глибина зони зараження , км

F - кутові розміри зони можливого зараження , (град); при $v=1\text{м/с}$;
 $f=180^\circ$.

Для нашого прикладу:

$\Gamma_n=5\text{км}$, $V=1\text{м/с}$,

$S_m=0,00872 \times 5^2 \times 180=39,2(\text{км}^2)$

$S_m=39,2(\text{км}^2)$;

Площа фактичного зараження S_f в км розраховується за формулою

$$S_f = K_\epsilon \times \Gamma_n^2 \times N^{0,2}$$

K_ϵ - коефіцієнт який залежить від ступеня вертикальної стійкості повітря: інверсія=0,081;

Тоді $S_f=0,081 \times 5^2 \times 1^{0,2}=2,025 (\text{км}^2)$;

Час підходу зараженого повітря до об'єкту залежить від швидкості перенесення хмари повітряним потоком

$$T_n = L/v \text{ (год)};$$

L -відстань від джерела зараження до заданого об'єкту , км;

v -швидкість переносу переднього фронту хмари зараженого повітря, км/год;

$L=1 \text{ км}$, $v=5 \text{ км}$;

$T_n=0,2(\text{год})=15(\text{хв})$.

Можливі втрати робітників , службовців і населення в районах хімічного зараження визначаються з використанням табл.5 [11] в залежності від умов перебування і забезпеченості засобами індивідуального захисту.

Можливі втрати -4% , $P=500 \times 0,04=20\text{чол}$.

Орієнтовна структура втрат:

легкого ступення-25% (5чол);

середнього ступення-40 % (8чол);

з смертельними випадками-35% (7чол).

Зона можливого зараження хмарою СДОР обмежена півколом, який

має кутові розміри f і радіус, рівний глибині зараження.

Зона можливого зараження має такий вигляд :

При швидкості вітру за прогнозом $v=0.6$ -м/с - півколо

$$A^0 = 270^0$$

$$f = 180^0$$

$$r = \Gamma$$

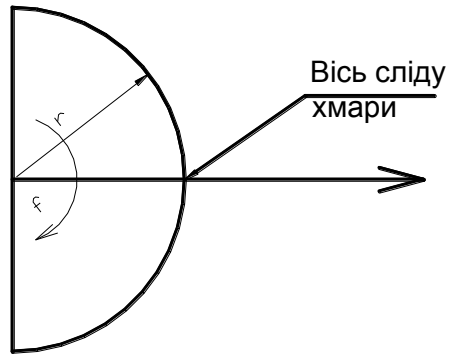


Рисунок 7.1 – Зона можливого зараження

ВИСНОВОК

У кваліфікаційній роботі проаналізовано сучасні рішення та технології в області автоматизації домашніх систем у контексті концепції "Розумний дім". Головною метою було вивчення існуючих платформ та технологій, а також моделювання управлінських процесів у Smart Home на основі Інтернету речей (IoT) та мереж Петрі.

У результаті проведеного дослідження було виявлено, що Smart Home технології активно розвиваються, і в даний час існує безліч рішень, які забезпечують автоматизацію побутових процесів. У аналітичній частині роботи були розглянуті провідні платформи, такі як Home Assistant, Amazon Alexa, Ecobee, Google Assistant і Apple HomeKit, що ілюструє широкий спектр можливостей для інтеграції різних пристроїв у єдину екосистему. Це підтверджує тренд до підвищення комфорту та безпеки в домогосподарствах, що пришвидшується завдяки інноваційним технологіям.

Науково-дослідна частина роботи зосереджена на моделях управління за допомогою мереж Петрі, які були обрані завдяки своїй здатності описувати складні взаємодії між компонентами системи. Проведений аналіз відомих рішень та моделювання поведінки пристроїв на базі IoT за допомогою кольорових мереж Петрі (CPN) дозволив виявити можливі проблеми та оптимізувати управлінські процеси. Використання CPN Tools для реалізації моделі допомогло підтвердити ефективність цього підходу й отримати конкретні результати, що свідчать про можливість успішної інтеграції даних моделей у системи Smart Home.

У технологічній частині роботи детально розглянуто основні технології, що застосовуються в IoT, а також бездротові технології зв'язку, які є критично важливими для забезпечення роботи системи "Розумний дім". Представлені приклади застосування технологій IoT у різних сферах, таких як енергетика, міські інфраструктури, сільське господарство та

промисловість, підтверджують їхню універсальність та вагомий внесок у підвищення ефективності та зниження витрат.

Проектна частина роботи окреслила ключові аспекти взаємодії між різними бездротовими протоколами, що забезпечують функціонування Smart Home рішень. Наведено конкретні приклади реалізації автоматизованих систем управління на базі сучасних мікроконтролерів, які відображають реальні можливості застосування розроблених підходів у практиці.

У висновку, результати даного дослідження свідчать про значний потенціал технологій Smart Home у підвищенні комфорту, безпеки та ефективності використання ресурсів у повсякденному житті. Однак, разом з їхніми перевагами, необхідно також враховувати питання безпеки та охорони праці, які були детально розглянуті у відповідних розділах роботи. Впровадження технологій IoT вимагає системного підходу до безпеки, аби мінімізувати ризики, пов'язані з управлінням і взаємодією пристроїв в умовах невизначеності та можливих загроз.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що Smart Home технології готові увійти в повсякденність, однак для їх успішного використання необхідно впроваджувати рекомендації щодо подальших досліджень і вдосконалення існуючих рішень у цій динамічно змінній та важливій сфері.

Розроблено ефективний метод оптимальної системи управління енергією в розумному будинку з використанням IoT і методів оптимізації. Основна мета цього дослідження полягає в оптимальному управлінні енергією з найменшими можливими експлуатаційними витратами, одночасно покриваючи потреби домашнього навантаження. Представлено проектування, впровадження та виготовлення портативної, недорогої та зручної системи автоматизації для розумних будинків на основі IoT. Ця конструкція дозволяє в режимі реального часу відстежувати стан будинку та контролювати домашні пристрої. Датчики були підключені до головного контролера, який оновлював усі дані на сервері IoT. За допомогою

мобільного додатку можна контролювати всі датчики. З міркувань безпеки користувач отримує сповіщення на свій телефон про будь-який ненормальний стан удома через сервер.

Управління розумною побутовою технікою можна легко здійснювати за допомогою графічного інтерфейсу LabVIEW або за допомогою голосових команд за допомогою Alexa. Система є економічно вигідною, що покращує енергоефективність

Процесорний модуль MCX53.XX підходить для всіх додатків у концепції IoT. Особливості MCX53.XX полягають у гнучкості та великому діапазоні його можливого.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Petri, Carl Adam. (1962) “Kommunikation mit Automaten,” Ph.D. dissertation, Science Faculty, Darmstadt Technical Univ, Darmstadt, Germany.
2. Petri nets. [Online]. Available: [http:// http://www.petrinets.info/](http://www.petrinets.info/).
3. Fonseca, João Paulo da Silva, and José Jean-Paul Zanlucchi de Souza Tavares (2017) "Petri net with RFID distributed database for autonomous search and rescue in trails and crossings," in Proc. PNSE'17, Zaragoza, pp. 229-230.
4. Fonseca, João P. S., Carlos E. A. Silva, Alexandre R Sousa, and José J. P. S. Z. S. Tavares. (2017) "Strategies for search and rescue multirobot system based on place/transition Petri nets and RFID distributed database," in Proc. LARS-SBR, Curitiba, pp. 1-6.
5. Westergaard, M. (2013) “CPN Tools 4: Multi-formalism and Extensibility”, in J. Colom, J. Lecture Notes in Computer Science vol. 7927, 34th International Conference, PETRI NETS, Milan, Italy, Proceedings. New York: Springer.
6. ISO/IEC (2004) “Systems and software engineering – High-level Petri nets – Part 1: Concepts, definition and graphical location, ISO/IEC 15909-1”
7. ISO/IEC (2011) “Systems and software engineering – High-level Petri nets – Part 2: Transfer format, ISO/IEC 15909-2”
8. Khanna A, Kaur S. Internet of things (IoT), applications and challenges: A comprehensive review. Wireless Personal Communications. 2020 Sep;114:1687-762.
9. Platenius-Mohr M, Malakuti S, Grüner S, Schmitt J, Goldschmidt T. File-and API-based interoperability of digital twins by model transformation: An IIoT case study using asset administration shell. Future generation computer systems. 2020 Dec 1;113:94-105.

10. Kale V. Parallel computing architectures and APIs: IoT big data stream processing. Chapman and Hall/CRC; 2019 Dec 6.
11. Atanasov I, Nikolov A, Pencheva E. An approach to transform Internet of Things data into knowledge. *International Journal of Embedded Systems*. 2017;9(5):401-12.
12. Yamakami T. A view model of API economy in city platform as a service. In 2017 8th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS) 2017 Nov 24 (pp. 95-98). IEEE.
13. Development of Digital Platform to Identify and Monitor the Digital Business Transformation Index, Strutynska, I., Dmytrotsa, L., Kozbur, H., Dudkin, P., Dudkina, O., *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*, 2020, 2, pp. 171–175, 9322016
14. Information technology to support the digital transformation of small and medium-sized businesses, Mosiy, L., Kozbur, H., Strutynska, I., Mosiy, O., Yatsyshyn, V. *CEUR Workshop Proceedings*, 2024, 3742, pp. 150–165
15. Analysis of the SMEs' Digitalization State Using HIT Index and Machine Learning Technique, Strutynska, I., Kozbur, H., Dmytrotsa, L., Kozbur, I., Gashchyn, N., *Proceedings - International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT*, 2023, pp. 332–337
16. Working-Out of Recommendation System to Increase the Digital Maturity Level of Enterprises, Strutynska, I., Dmytrotsa, L., Kozbur, H., Hlado, O., Sorokivska, O., 2020 *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2020 - Proceedings*, 2021, pp. 147–151, 9467978
17. The Unification of Approaches to Measuring the Digital Maturity of Business Structures (International and Domestic Approaches) / Strutynska, I., Dmytrotsa, L., Kozbur, H., Melnyk, L., Sherstiuk, R., *CEUR Workshop Proceedings*, 2021, 3013, pp. 10–23
18. Tiwari MK, Pal R, Singh R, Singh AK, Kumar V, Sharma S, et al. The

- Comprehensive Review: Internet Protocol (IP) Address a Primer for Digital Connectivity. Asian Journal of Research in Computer Science. 2024 Jul 16;17(8):34-45.
19. Udoh IS, Kotonya G. Developing IoT applications: challenges and frameworks. IET Cyber-Physical Systems: Theory & Applications. 2018 Jun;3(2):65-72.
 20. Diahovchenko I., Kolcun M., Čonka Z., Savkiv V., Mykhailyshyn R. Progress and challenges in smart grids: Distributed generation, smart metering, energy storage and smart loads. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering, 2020. Vol. 44. P. 1319-1333. <https://doi.org/10.1007/S40998-020-00322-8>.
 21. Palamar A., Pettai E., Beldjajev V. Control System for a Diesel Generator and UPS Based Microgrid. Scientific Journal of Riga Technical University. Power and Electrical Engineering. 2010. Vol. 27. P. 47-52.
 22. Vasylykivskyi I., Ishchenko V., Pohrebennyk V., Palamar M., Palamar A. System of water objects pollution monitoring. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM 2017), Vienna, Austria, November, 27–29, 2017. Vol. 17, No. 33. P. 355-362.
 23. Wieclaw L.; Pasichnyk V.; Kunanets N.; Duda O.; Matsiuk O.; Falat P. Cloud computing technologies in “smart city” projects. In Proceedings of the 2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). Bucharest: Romania, 21–23 September 2017. pp. 339–342.
 24. Yaskiv V. Using of High-Frequency Magnetic Amplifier in Switch Mode DC Power Supplies. Proceedings of the 35th Annual IEEE Power Electronic Specialists Conference (PESC'04), Aachen, 2004. P. 1658–1662.
 25. Celik ZB, Fernandes E, Pauley E, Tan G, McDaniel P. Program analysis of commodity IoT applications for security and privacy: Challenges and

- opportunities. ACM Computing Surveys (CSUR). 2019 Aug 30;52(4):1-30.
26. Автоматизація виробничих процесів : навч. посіб. / Проць Я. І., Савків В. Б., Шкодзінський О. К., Ляшук О. Л. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 344с.
27. 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.
28. Букетов А. В., Стухляк П. Д., Кальба Є. М. Фізико-хімічні процеси при формуванні епоксикомпозитних матеріалів. Тернопіль: Збруч, 2005. 182 с.
29. Драган Я.П., Яворський Б. І., Яворська Є. Б. Концепції і принципи побудови моделей для означення метрологічних характеристик ритміки кардіосигналів. Вісник нац. унів. "Львівська політехніка": зб. наук. пр. Львів: Національний університет "Львівська політехніка", 2002. № 443. С. 200-205.
30. Коваль В. П., Івасечко Р. Р., Козак К. М. Енергетична ефективність систем позиціонування плоских сонячних панелей. Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. 2015. № 3. С. 2-10.
31. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.
32. 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.
33. 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.
34. Паламар М. І., Стрембіцький М. О., Паламар А. М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів : навч. посіб.

Тернопіль : ТНТУ, 2019. 150 с.

35. Стухляк П.Д., Букетов А.В. Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані ультрафіолетовим опроміненням. Тернопіль: Збруч, 2009. 237 с.
36. Ткачук Р., Яворський Б. Метод побудови біотехнічної системи для оцінювання електроретинограм з підвищеною вірогідністю та ефективністю. Вісник Тернопільського державного технічного університету. 2009. №3. С. 102-110.
37. Юзьків А. В., Яворський Б. І. Математичне моделювання електроретинографічних сигналів. Вісник ТДТУ. Тернопіль, 1997. № 2. С. 40-45.
38. Яворський Б. І. Математичні основи радіоелектроніки. Частина І. Тернопіль: ТПІ імені Івана Пулюя. 1996. 184 с.
39. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>.
40. Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський)/ укл.: О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.
41. Платформа .NET та мова програмування C# 8.0: навчальний посібник / Коноваленко І.В., Марущак П.О. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2020 – 320 с.
42. Проектування мікропроцесорних систем керування: навчальний посібник / І.Р. Козбур, П.О. Марущак, В.Р. Медвідь, В.Б. Савків, В.П. Пісьціо. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. – 324 с.
43. Медвідь В.Р., Проектування мікропроцесорних систем керування: навчальний посібник / І.Р. Козбур, В.Р. Медвідь, В.П. Пісьціо. –

Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2015. – 354 с., ISBN 978-966-305-045-4, <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/20504>.

44. Савків В.Б., Капаціла Ю.Б., Михайлишин Р.І. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2021. 50 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/35172>
45. Основи наукових досліджень і теорія експерименту : Навчальний посібник для здобувачів освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / укл. Ю. Б. Капаціла, П. О. Марущак, В. Б. Савків, О. П. Шовкун. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2023. 186 с.
46. Козбур І.Р., Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Дослідження частотних характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – с. 16. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39207>
47. Трембач Р.Б., Шовкун О.П. Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Інформаційно – вимірювальні системи” Модуль І. «Вимірювальна техніка» – Тернопіль: ТНТУ., 2024. – 67 с.
48. Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Електроніка і мікросхемотехніка” Модуль 3. «Імпульсна техніка, вторинні джерела живлення, основи цифрової електроніки» – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 26с.
49. Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Електроніка і мікросхемотехніка” Модуль 4. «Мікросхемотехніка» – Тернопіль: ТНТУ,

2024. – 44с.

50. Розробка мікропроцесорної системи керування на основі мікропроцесорного комплекту КР580 та на основі ОМЕОМ К1816ВЕ51/ Методичні вказівки для виконання курсового проєкту з дисципліни "Електроніка і мікропроцесорна техніка" //Медвідь В.Р, Пісьціо В.П., Микулик П.М. Тернопіль: ТНТУ - 2016. 108 с.
51. Козбур І.Р., Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Дослідження часових характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – 19 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39206>
52. Лабораторний практикум з проектування та моделювання роботи електропневматичних схем у середовищі програмного пакету «FluidSIM Pneumatics» з курсу «Технічні засоби автоматизації» / укл. : О.К. Шкодзінський. - Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. - 32 с.<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/31418>
53. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. / Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 344 с.
54. Автоматизація виробничих процесів: Навчальний посібник / Я.Проць, О.Данилюк, В.Савків - ТДТУ. 2005. -264с.
55. Методичні вказівки з виконання курсової роботи з дисципліни «Основи наукових досліджень» для здобувачів освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / укл. : П.О. Марущак , Ю.Б. Капаціла , Р.І. Михайлишин. - Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2018. - 75 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/26145>

56. Методичні вказівки по роботі з програмним симулятором "AVR simulator IDE" з курсу "Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо. - Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. - 21 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/32136/>.
57. Методичні рекомендації для практичних занять з курсу «Засади провадження наукової діяльності» / укл. : Дмитрів Олена Романівна, Рогатинський Роман Михайлович. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2024. – 112 с., <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/44669>.