

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

*бакалавр*

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Комп'ютерна IoT-система моніторингу напруги  
електромережі для виявлення аварійних відключень*

Виконала: студентка 4 курсу, групи СІЗ-41  
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

*Остапшин С.В.*

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

*Осухівська Г.М.*

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

*Тих С.В.*

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

*Осухівська Г.М.*

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

*Деркач М.В.*

(прізвище та ініціали)

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

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

«08» травня 2026 р

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

студентці Остапшин Сніжані Володимирівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютерна IoT-система моніторингу напруги електромережі для виявлення аварійних відключень

Керівник роботи Осухівська Галина Михайлівна, к.т.н., доцент

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

Затверджені наказом ректора від «08» травня 2026 року № 4/9-222

2. Термін подання студентом завершеної роботи 11.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

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

Вступ

1. Аналіз технічного завдання

2. Проєктна частина

3. Практична частина

4. Безпека життєдіяльності, основи охорона праці

Висновки

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

1. Структурна схема системи

2. Схема електрична принципова

3. Блок-схема алгоритму роботи

4. Результати моделювання системи



## АНОТАЦІЯ

Остапишин С.В. Комп'ютерна IoT-система моніторингу напруги електромережі для виявлення аварійних відключень : робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026.

Ключові слова: IoT-система, аварійне відключення електроенергії, моніторинг електроживлення, мікроконтролер, Telegram-бот, віддалене сповіщення.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці комп'ютерної IoT-системи моніторингу напруги електромережі для виявлення аварійних відключень. Актуальність роботи зумовлена необхідністю забезпечення оперативного контролю стану електроживлення об'єктів різного призначення в умовах підвищених вимог до надійності та безперервності енергопостачання.

У першому розділі проаналізовано технічне завдання, сформульовано функціональні вимоги до системи, а також проведено огляд існуючих аналогів і рішень у сфері моніторингу електроживлення та IoT-пристроїв. Визначено їхні переваги, недоліки та обґрунтовано доцільність розробки власної системи.

У другому розділі розроблено апаратне забезпечення системи, зокрема структурну схему та принципову електричну схему пристрою. Проведено обґрунтування вибору елементної бази з урахуванням технічних характеристик, енергоефективності, вартості та доступності компонентів.

У третьому розділі розроблено алгоритм функціонування системи, реалізовано програмне забезпечення мікроконтролера, виконано інтеграцію з IoT-платформою та Telegram-ботом, а також проведено тестування працездатності й оцінку ефективності функціонування розробленої системи.

## ANNOTATION

Ostapyshyn S.V. Computer IoT System for Monitoring the Voltage of the Power Grid to Detect Emergency Outages. Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — Computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2026.

Keywords: IoT system, power outage detection, power supply monitoring, microcontroller, Telegram bot, remote notification.

This thesis focuses on the development of a computer IoT system for monitoring the voltage of the power grid to detect emergency outages. The relevance of the work is determined by the need for reliable and continuous monitoring of power supply conditions in facilities requiring increased operational reliability.

The first chapter includes an analysis of the technical assignment, formulation of functional system requirements, and a review of existing analog solutions in the field of power monitoring and IoT devices. Their advantages and limitations are identified, and the feasibility of developing a custom solution is substantiated.

The second chapter focuses on hardware development, including the creation of the system block diagram and electrical schematic. The selection of the component base is justified considering technical parameters, energy efficiency, cost, and availability.

The third chapter describes the development of the system operation algorithm, implementation of the microcontroller software, integration with an IoT platform and a Telegram bot, as well as system testing and evaluation of the developed solution's performance and effectiveness.

## ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	10
1.1 Огляд та аналіз сфер застосування системи виявлення аварійних відключень електроенергії .....	10
1.2 Аналіз вимог до системи виявлення аварійних відключень електроенергії....	12
1.3 Огляд існуючих засобів для виявлення аварійних відключень електроенергії .....	13
1.4 Аналіз можливих рішень поставленого завдання.....	18
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА .....	21
2.1 Структура системи моніторингу напруги електромережі .....	21
2.2 Апаратне забезпечення системи моніторингу напруги електромережі для виявлення аварійних відключень .....	23
2.2.1 Модуль ESP32 DevKit.....	23
2.2.2 Модуль для вимірювання змінної напруги ZMPT101B .....	26
2.2.3 Модуль LCD дисплея 1602.....	29
2.2.4 Зарядний модуль TP4056.....	32
2.2.5 Підвищуючий перетворювач MT3608 .....	35
2.3 Електрична принципова схема пристрою для моніторингу напруги електромережі.....	37
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА .....	40
3.1 Алгоритм роботи IoT-системи моніторингу напруги електромережі для виявлення аварійних відключень .....	40
3.2 Розробка програмного забезпечення.....	43
3.2.1 Ініціалізація системи та підключення до мережевих сервісів .....	43
3.2.2 Реалізація основного циклу програми .....	44

					<i>КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розробила</i>		<i>Остапишин С.В.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>			5	83	
<i>Рецензент</i>		<i>Деркач М.В.</i>			<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІз-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Е.В.</i>					
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>					
					<i>Комп'ютерна IoT-система моніторингу напруги електромережі для виявлення аварійних відключень</i>		

3.2.3 Реалізація обчислення ефективного значення напруги у функції readVoltageRMS() .....	48
3.3 Реалізація дистанційного моніторингу .....	49
3.3.1 Налаштування платформи Thinger .....	49
3.3.2 Створення та налаштування Telegram бота.....	51
3.4 Результати моделювання та тестування системи .....	53
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ .....	57
4.1 Долікарська допомога при ураженні електричним струмом.....	57
4.2 Вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок.....	59
ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65
Додаток А Технічне завдання	
Додаток Б Перелік елементів	
Додаток В Лістинг програми	

					<i>КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						6
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

ADC – Analog-to-Digital Converter

GPIO – General Purpose Input/Output

IoT – Internet of Things

I2C – Inter-Integrated Circuit

LCD – Liquid Crystal Display

RMS – Root Mean Square

АС – аварійна ситуація

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ДЗН – давач змінної напруги

ЕМ – електрична мережа

КС – комп'ютерна система

МК – мікроконтролер

РКД – рідкокристалічний дисплей

СМН – система моніторингу напруги

ХП – хмарна платформа

ЦОС – цифрова обробка сигналів

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Стабільність та безперервність електропостачання є критично важливою умовою функціонування сучасних житлових, комерційних і промислових об'єктів. У сучасних умовах зростання навантаження на енергетичну інфраструктуру, зношеності мереж та підвищених ризиків аварійних ситуацій проблема своєчасного виявлення відключень електроенергії набуває особливої актуальності. Непередбачені знеструмлення можуть призводити до втрати даних, зупинки технологічних процесів, пошкодження обладнання, зниження рівня безпеки та фінансових збитків. Особливо критичною є відсутність оперативного інформування відповідальних осіб про факт аварійного відключення, що ускладнює своєчасне реагування на такі події.

Традиційні засоби контролю електроживлення часто обмежуються локальною індикацією або потребують постійної фізичної присутності оператора. Водночас розвиток концепції Інтернету речей (IoT) відкриває можливості для створення розподілених систем моніторингу з віддаленим доступом та автоматичним сповіщенням користувачів через сучасні цифрові канали зв'язку, зокрема месенджери. Використання платформи Telegram для реалізації механізму сповіщень забезпечує оперативність, доступність і масштабованість рішення без потреби у складній інфраструктурі.

Тому актуальною є задача розробки комп'ютерної IoT-системи, здатної здійснювати безперервний моніторинг наявності електроживлення, фіксувати аварійні відключення та автоматично передавати відповідні повідомлення користувачу в реальному часі. Реалізація такої системи дозволить підвищити рівень надійності контролю електропостачання, зменшити час реагування на аварійні ситуації та забезпечити віддалений контроль стану об'єкта.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка комп'ютерної IoT-системи виявлення аварійних відключень електроенергії з автоматичним інформуванням користувача через Telegram-бота, яка забезпечує безперервний моніторинг стану електроживлення та передачу повідомлень у разі виникнення аварійної події.

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати предметну область та технічне завдання на розробку системи;
- сформулювати вимоги до проєктованої IoT-системи;
- провести огляд існуючих аналогів та технічних рішень у сфері моніторингу електроживлення та віддаленого сповіщення;
- розробити структурну схему системи та визначити її основні функціональні модулі;
- розробити принципову електричну схему пристрою та обґрунтувати вибір елементної бази;
- розробити алгоритм функціонування системи в умовах нормального режиму роботи та аварійного відключення електроенергії;
- реалізувати програмне забезпечення мікроконтролера та забезпечити інтеграцію з IoT-платформою і Telegram-ботом;
- провести експериментальне тестування розробленої системи та оцінити її працездатність і ефективність.

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Огляд та аналіз сфер застосування системи виявлення аварійних відключень електроенергії

У сучасних умовах функціонування енергетичної інфраструктури, що характеризується зростанням навантаження, зношеністю обладнання та підвищеними ризиками аварійних відключень, потреба в системах дистанційного моніторингу стає особливо актуальною. Застосування концепції Інтернету речей дозволяє реалізувати розподілені системи контролю з можливістю централізованого спостереження та оперативного інформування користувачів незалежно від їх місця перебування.

Однією з основних сфер застосування такої системи є житловий сектор. У приватних будинках і квартирах аварійне відключення електроенергії може призвести до зупинки систем опалення, водопостачання, охоронних сигналізацій, систем відеоспостереження та мережевого обладнання. Особливо критичними є ситуації, коли власник відсутній на об'єкті протягом тривалого часу. У таких випадках своєчасне отримання повідомлення через месенджер Telegram дозволяє оперативно вжити заходів, наприклад, перевірити стан резервного живлення або звернутися до відповідних служб.

Іншою важливою сферою є малий та середній бізнес. Для офісних приміщень, торговельних точок, складів і невеликих виробничих підприємств безперервність електропостачання безпосередньо впливає на стабільність бізнес-процесів. Відключення електроенергії може спричинити втрату даних, порушення роботи касового обладнання, серверів, систем обліку та контролю доступу. Використання комп'ютерної системи моніторингу дозволяє відповідальним особам отримувати сповіщення в реальному часі, що зменшує ризики фінансових втрат та простою.

					<i>КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробила</i>		<i>Остапишин С.В.</i>			<i>Аналіз технічного завдання</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>					<i>10</i>	<i>11</i>
<i>Рецензент</i>		<i>Деркач М.В.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІз-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Е.В.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>						

Особливої актуальності система набуває у сфері інформаційних технологій та телекомунікацій. Серверні кімнати, мережеві вузли, точки доступу до Інтернету та інші елементи ІТ-інфраструктури потребують постійного контролю живлення. Навіть короточасні перебої можуть призвести до некоректної роботи обладнання або втрати даних. Інтеграція системи моніторингу з мережевими сервісами дозволяє адміністраторам своєчасно реагувати на інциденти та ініціювати процедури резервного живлення або безпечного завершення роботи серверів.

Перспективною сферою застосування є об'єкти критичної інфраструктури та автоматизовані технологічні процеси. Хоча для таких об'єктів зазвичай використовуються промислові системи моніторингу, запропонована IoT-система може бути використана як додатковий незалежний канал інформування. Це підвищує загальний рівень надійності та створює резервний механізм сповіщення у випадку відмови основних систем контролю.

Окрему категорію становлять об'єкти з автономним або резервним живленням, зокрема системи безперебійного живлення, альтернативні джерела енергії та локальні електростанції. У таких випадках система може виконувати функцію індикатора переходу на резервне живлення, що дозволяє контролювати тривалість автономної роботи та планувати подальші дії. Аналіз цієї сфери застосування показує, що навіть просте повідомлення про факт зникнення мережевої напруги може бути критично важливим для прийняття управлінських рішень.

З точки зору технічної реалізації, система має універсальний характер і може бути адаптована до різних типів об'єктів завдяки модульній архітектурі. Використання мікроконтролерів із підтримкою мережевих інтерфейсів забезпечує гнучкість інтеграції з існуючою інфраструктурою. Застосування популярного месенджера як каналу сповіщення дозволяє уникнути необхідності розробки окремого клієнтського програмного забезпечення, що зменшує складність впровадження та експлуатації системи.

Отже, комп'ютерна IoT-система виявлення аварійних відключень електроенергії має широку універсальність і може використовуватися в побутових,

					<i>КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		11

комерційних та технічних середовищах. Основними перевагами її впровадження є оперативність інформування, віддалений доступ, масштабованість і відносно невисока вартість реалізації порівняно з промисловими системами моніторингу. Таким чином, розробка такої системи є технічно обґрунтованою та доцільною з практичної точки зору, що підтверджує актуальність теми кваліфікаційної роботи.

## 1.2 Аналіз вимог до системи виявлення аварійних відключень електроенергії

Вимоги до системи виявлення аварійних відключень електроенергії доцільно розглядати з позицій функціональності, надійності, безпеки, продуктивності, масштабованості та експлуатаційних характеристик. Їх формування здійснюється на основі аналізу технічного завдання, умов експлуатації та особливостей об'єкта моніторингу.

До функціональних вимог належить забезпечення безперервного контролю наявності мережевої напруги та своєчасне виявлення факту її зникнення. Система повинна фіксувати як момент аварійного відключення, так і момент відновлення електропостачання. У разі виникнення події має автоматично формуватися інформаційне повідомлення та передаватися користувачу через Telegram. Передбачено також коректну обробку повторних або короткочасних зникнень напруги з метою уникнення хибних спрацювань. Алгоритм функціонування має включати механізми фільтрації імпульсних перешкод та програмну затримку підтвердження аварійного стану.

До нефункціональних вимог належать вимоги до надійності та стабільності роботи системи. Вона повинна функціонувати в режимі 24/7 без необхідності постійного втручання оператора. Після відновлення електроживлення або перезавантаження мікроконтролера система має автоматично переходити у робочий режим без втрати налаштувань. Важливим є забезпечення мінімального часу реакції між моментом виявлення відключення та надсиланням повідомлення. Затримка передачі даних повинна визначатися лише технічними характеристиками мережі зв'язку.

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окрему групу становлять вимоги до безпеки. Оскільки система взаємодіє з мережею змінного струму 220–230 В, необхідно передбачити гальванічну розв'язку між високовольтною та низьковольтною частинами пристрою. Конструкція повинна відповідати нормам електробезпеки, а програмна частина — забезпечувати захищене з'єднання з серверами Telegram через шифровані протоколи. Доступ до Telegram-бота має бути обмежений авторизованими користувачами.

Також важливими є вимоги до масштабованості та гнучкості системи. Архітектура повинна бути модульною, що дозволить у подальшому розширити функціонал, наприклад, додати вимірювання рівня напруги, частоти або інтеграцію з іншими IoT-платформами. Програмний код має бути структурованим і документованим для спрощення модернізації.

Вимоги до апаратної частини передбачають використання мікроконтролера з вбудованим модулем мережевої взаємодії (Wi-Fi або іншим інтерфейсом), достатнім обсягом пам'яті для реалізації алгоритмів обробки подій і підтримки мережевих протоколів. Енергоспоживання системи повинно бути мінімальним, що особливо важливо у випадку використання резервного живлення.

Комплексний аналіз вимог дозволяє сформулювати технічні та функціональні критерії, які визначають структуру, алгоритми роботи та елементну базу комп'ютерної системи. Чітке формулювання вимог є необхідною передумовою для успішної реалізації проєкту та забезпечення відповідності розробленої системи поставленим цілям.

### 1.3 Огляд існуючих засобів для виявлення аварійних відключень електроенергії

На сучасному ринку існує кілька класів технічних рішень і сервісів, спрямованих на моніторинг електроживлення, виявлення аварійних відключень та сповіщення користувачів. Ці рішення варіюються від великомасштабних промислових платформ до побутових IoT-пристроїв [1]. Аналіз цих засобів

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяє зрозуміти їх функціональні можливості, а також визначити обмеження, які мотивують розробку нових систем, таких як проєктована IoT-система.

Одні з найбільш масштабних рішень на ринку – це комплексні програмно-технічні платформи для моніторингу та управління електричною мережею. Наприклад, рішення типу EcoStruxure™ від Schneider Electric пропонують потужну підтримку моніторингу мереж середньої та низької напруги, аналіз тенденцій та аварійних сигналів у реальному часі, а також можливість інтеграції з SCADA-системами для промислових об'єктів [2]. Такі платформи забезпечують високий рівень діагностики, побудову моделей роботи мережі та прогнозування збоїв, що особливо важливо для великих підприємств, критичної інфраструктури та енергокомпаній (рис. 1.1). Проте вартість впровадження, складність інтеграції та потреба в професійному обслуговуванні роблять їх недоцільними для індивідуальних користувачів або невеликих об'єктів, де не потрібні повноцінні SCADA-функції або розгортання великої технічної інфраструктури.



Рисунок 1.1 – Платформа для моніторингу та управління електричною мережею EcoStruxure

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

У деяких рішеннях, призначених для автоматизації управління електроживленням на рівні підприємств або відповідальних об'єктів, використовуються складні алгоритми оцінки якості напруги та аналізу параметрів електропостачання, як це реалізовано у системах типу автоматичного переключення резервних джерел живлення [3]. Такі системи дозволяють не лише виявляти відхилення напруги, а й автоматично перемикати навантаження на резервні джерела, оптимізуючи живлення чутливого обладнання. Подібні рішення пропонують розширений набір функцій, включаючи реєстрацію історичних даних і тривалій аналіз. Однак їхній фокус закладений на автоматичному управлінні живленням у рамках складної електротехнічної архітектури, а не на простому та віддаленому сповіщенні про відключення електроенергії (рис. 1.2).

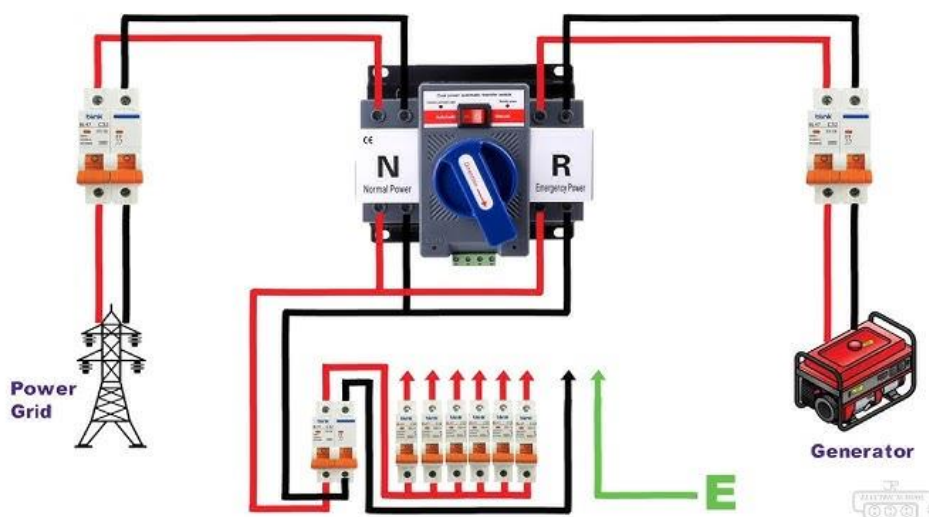


Рисунок 1.2 – Система автоматичного переключення резервних джерел живлення

Серед IoT-орієнтованих рішень на ринку присутні окремі пристрої, що орієнтовані на побутових користувачів у сегменті «розумного дому». Прикладом такого пристрою є iSocket – компактний IoT-пристрій, здатний відправляти SMS-повідомлення користувачу у разі відключення електроенергії або інцидентів із підключеним обладнанням [4]. Пристрій має вбудований GSM-модуль із SIM-карткою та автономний акумулятор, що дозволяє йому функціонувати достатньо довго для передачі сигналу про відключення. Такий підхід є порівняно простим і

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

незалежним від домашньої мережі Wi-Fi, що дозволяє охопити випадки відсутності Інтернет-зв'язку (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Розумна GSM розетка iSocket

Разом із тим, IoT-пристрої на кшталт iSocket мають низку суттєвих обмежень. По-перше, вони здебільшого використовують канал мобільного зв'язку для передачі SMS, що створює додаткові витрати для користувача у вигляді тарифів за обмін короткими повідомленнями. Такий підхід може бути ефективним для простих сценаріїв, але він обмежує можливості двосторонньої взаємодії та оперативної передачі структурованих даних. Крім того, SMS-оповіщення не дозволяють реалізувати складні механізми сповіщення, аналітики чи віддаленого керування станом пристрою, які характерні для сучасних месенджер-інтерфейсів.

Інші IoT-сервіси, наприклад ті, що застосовуються в IoT-платформах для енергетичних компаній, використовують мережу сенсорів, що передають дані на центральний сервер або хмарну платформу, де відповідальні працівники отримують повідомлення про нештатні ситуації. Такі рішення, як описано в продуктових пропозиціях від IoT-постачальників сервісів моніторингу енерговводів, дозволяють диспетчерам отримувати сповіщення через email або

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

месенджери, а також управляти сенсорними мережами за допомогою веб-інтерфейсів [5].

Проте й ці підходи мають обмеження. Вони орієнтовані на корпоративних користувачів, потребують розгортання інфраструктури серверів і централізованого зберігання даних, що не завжди є економічно виправданим для невеликих об'єктів чи приватних користувачів. Крім того, типові реалізації таких рішень не забезпечують прямого, миттєвого сповіщення у вигляді повідомлень у популярні месенджери, що вимагатиме додаткової конфігурації та інтеграції з зовнішніми сервісами.

У академічній та технічній літературі також розглядаються рішення для виявлення аварійних станів у мережах, зокрема із застосуванням концепції «Smart Grid» і розумних вимірювальних систем [6]. Такі підходи передбачають використання інтелектуальних пристроїв та методів аналізу даних для підвищення надійності розподільних мереж. Вони можуть виявляти аномалії на рівні кабелів, що дозволяє скоротити час пошуку місця пошкодження та оптимізувати їх ремонт. Але ці системи розраховані на впровадження в масштабні інфраструктури міст або підприємств, і їх застосування поза межами розподілу великої електромережі є складним та дорогим.

Порівнюючи наведені рішення, можна виділити низку загальних недоліків, що стимулюють потребу в розробці нової IoT-системи:

- комплексні промислові платформи вимагають значних інвестицій та професійних навичок для впровадження і обслуговування;
- багато рішень орієнтовані на корпоративний сегмент, що не забезпечує універсального способу оповіщення для побутових сценаріїв;
- деякі побутові пристрої використовують платні сервіси для передачі сигналів, що створює додаткові витрати та обмежує функціональність;
- більшість готових рішень не забезпечують прямого миттєвого оповіщення в Telegram або інших популярних каналах без додаткової розробки та інтеграції.

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ці обмеження свідчать про необхідність створення адаптованого IoT-рішення, яке поєднує простоту використання, низьку вартість, безперервний моніторинг та гнучкі механізми сповіщення користувачів через сучасні цифрові канали. Такий підхід дозволить забезпечити широкий спектр застосувань – від побутових сценаріїв до малих підприємств — з мінімальними витратами на впровадження та експлуатацію.

#### 1.4 Аналіз можливих рішень поставленого завдання

Поставлене завдання розробки комп'ютерної IoT-системи виявлення аварійних відключень електроенергії з автоматичним інформуванням користувача передбачає вибір раціональної архітектури, елементної бази та каналу передачі повідомлень. Аналіз можливих рішень доцільно здійснювати за такими критеріями: технічна реалізованість, вартість, енергоспоживання, надійність, складність інтеграції та масштабованість.

Перший можливий підхід полягає у використанні GSM-модуля для передачі SMS-повідомлень про зникнення напруги. Така архітектура передбачає застосування мікроконтролера з підключеним GSM-модемом та SIM-картою оператора мобільного зв'язку. Перевагами рішення є незалежність від локальної мережі Wi-Fi та можливість функціонування навіть за відсутності стаціонарного інтернет-каналу. Крім того, SMS-повідомлення можуть бути отримані практично на будь-якому мобільному пристрої. Однак цей варіант має низку недоліків: постійні витрати на обслуговування SIM-карти, обмеженість формату повідомлень, відсутність зручного інтерфейсу двосторонньої взаємодії та складність масштабування на декількох користувачів. Крім того, GSM-модулі підвищують енергоспоживання пристрою та ускладнюють апаратну частину.

Другий варіант передбачає використання електронної пошти або push-сповіщень через хмарні сервіси. У цьому випадку мікроконтролер із доступом до Інтернету передає інформацію на сервер або IoT-платформу, яка генерує відповідні повідомлення. Такий підхід дозволяє централізовано зберігати дані та

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

реалізувати додаткову аналітику. Проте для невеликих об'єктів розгортання окремої серверної інфраструктури або використання комерційних хмарних сервісів може бути економічно недоцільним. Крім того, електронна пошта не завжди забезпечує оперативність отримання повідомлень, оскільки час доставки залежить від налаштувань поштових клієнтів та серверів.

Третій підхід полягає у використанні мобільного застосунку власної розробки. У цьому випадку створюється клієнтський додаток для смартфона, який отримує повідомлення від пристрою через API або MQTT-брокер. Такий варіант дозволяє реалізувати розширені функції моніторингу. Водночас розробка, тестування та підтримка мобільного застосунку потребують значних ресурсів. Крім того, користувач повинен встановлювати окремий додаток, що знижує зручність впровадження системи.

Четвертим варіантом є використання IoT-платформи з інтеграцією у популярний месенджер. У цьому випадку мікроконтролер із вбудованим модулем Wi-Fi підключається до мережі Інтернет та взаємодіє з API месенджера. Зокрема, інтеграція з платформою Telegram дозволяє реалізувати зручний механізм сповіщень без розробки окремого клієнтського програмного забезпечення. Перевагами такого рішення є безкоштовність використання сервісу, підтримка шифрованого з'єднання, можливість двосторонньої взаємодії, простота налаштування та висока швидкість доставки повідомлень. Користувач отримує інформацію у знайомому інтерфейсі месенджера, що підвищує ергономічність системи.

З точки зору апаратної реалізації можливе використання різних мікроконтролерів: класичних плат Arduino із зовнішнім Wi-Fi-модулем, одноплатних комп'ютерів або сучасних мікроконтролерів із вбудованим бездротовим інтерфейсом. Найбільш раціональним є застосування мікроконтролера з інтегрованим Wi-Fi, що зменшує кількість компонентів, спрощує схему та підвищує надійність. При цьому обов'язковою умовою є забезпечення гальванічної розв'язки між мережею 220–230 В і низьковольтною частиною пристрою.

					<i>КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		19

Порівняльний аналіз показує, що оптимальним рішенням для поставленого завдання є IoT-архітектура з використанням Wi-Fi-мікроконтролера, хмарної платформи та інтеграцією з Telegram-ботом. Такий підхід забезпечує баланс між функціональністю, вартістю та простотою реалізації. Він не потребує додаткових фінансових витрат на мобільний зв'язок, забезпечує швидке отримання повідомлень і дозволяє у перспективі розширити функціонал системи. Обраний напрям розробки є технічно та економічно обґрунтованим і відповідає вимогам, сформульованим у технічному завданні.

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

### 2.1 Структура системи моніторингу напруги електромережі

Структура розроблюваної комп'ютерної IoT-системи визначається функціональними вимогами до безперервного контролю напруги електромережі, обробки даних, відображення інформації, передачі даних у хмарне середовище та керування навантаженням. Структурна схема системи моніторингу напруги електромережі, яка відображає основні функціональні блоки та зв'язки між ними, представлена на рисунку 2.1.

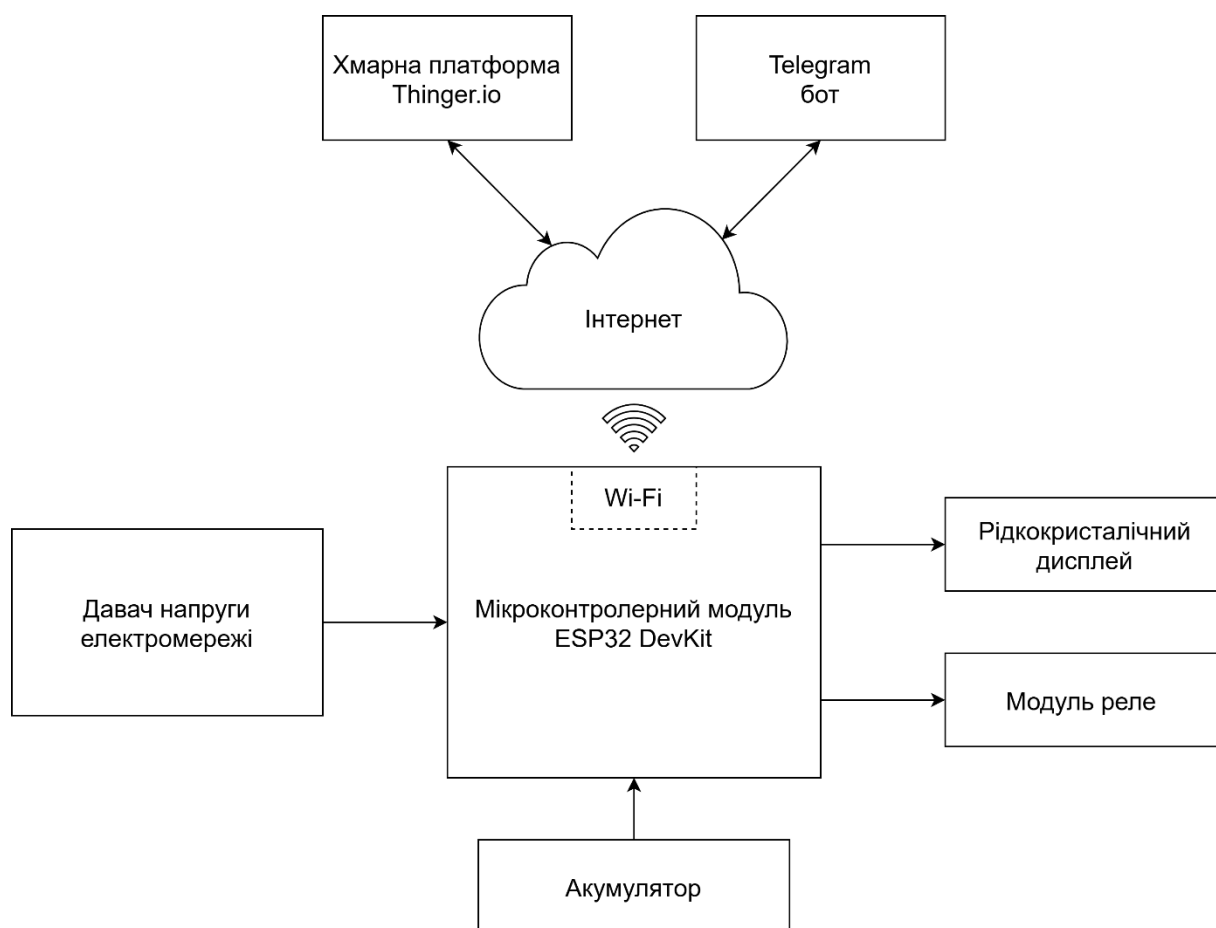


Рисунок 2.1 – Структурна схема IoT-системи моніторингу напруги електромережі для виявлення аварійних відключень

					<i>КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробила</i>		<i>Остапшин С.В.</i>			<i>Проектна частина</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>					21	19
<i>Рецензент</i>		<i>Деркач М.В.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІЗ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Е.В.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>						

Центральним елементом системи є мікроконтролерний модуль, який виконує функції обробки даних, керування периферійними пристроями та забезпечення мережевої взаємодії. Саме цей модуль реалізує алгоритм функціонування системи, включаючи зчитування даних із давача, обчислення значення напруги, аналіз відхилень від допустимого діапазону, формування керуючих сигналів для виконавчих пристроїв, а також передачу інформації до хмарної IoT-платформи Thinger.io.

До входу мікроконтролерного модуля підключено давач змінної напруги, який здійснює перетворення високовольтного сигналу мережі змінного струму у безпечний низьковольтний аналоговий сигнал. Він надходить на аналоговий вхід мікроконтролера, де виконується його подальша обробка, зокрема визначення діючого значення напруги. Таким чином забезпечується можливість не лише фіксації факту наявності або відсутності напруги, але й її кількісного контролю.

Вихідним виконавчим елементом системи є модуль реле, який підключений до одного з цифрових виходів мікроконтролера. Реле забезпечує комутацію зовнішнього електричного навантаження залежно від умов, визначених алгоритмом роботи системи. У разі виявлення відхилення напруги від допустимого діапазону або за командою користувача, отриманою через IoT-платформу, мікроконтролер формує сигнал на вимкнення або увімкнення навантаження, що дозволяє реалізувати функцію захисту підключених пристроїв.

Для локального відображення інформації у системі передбачено дисплейний модуль, який підключається до мікроконтролера через цифровий інтерфейс. На дисплеї відображаються поточне значення напруги, стан системи, режим роботи, а також інформація про стан виконавчого елемента. Це забезпечує зручність контролю параметрів без необхідності використання зовнішніх пристроїв.

Важливою складовою структури є підсистема живлення, яка включає основне та резервне джерело напруги та модулі керування енергопостачанням. Основне живлення системи здійснюється від мережі змінного струму через модуль перетворення напруги, який забезпечує стабілізовану низьковольтну напругу для живлення електронних компонентів. У разі відключення електроенергії

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

функціонування системи підтримується за рахунок акумуляторної батареї. Така організація живлення забезпечує безперервність роботи системи та можливість передачі аварійних повідомлень навіть у випадку повного зникнення напруги мережі.

Окремим функціональним блоком у структурній схемі є хмарна IoT-платформа Thingier.io, яка взаємодіє з мікроконтролером через мережу Інтернет. Платформа забезпечує приймання, зберігання та візуалізацію даних, а також надає користувачу можливість дистанційного моніторингу та керування системою. Через відповідний інтерфейс користувач може отримувати інформацію про поточний стан напруги, переглядати історичні дані та надсилати команди керування реле.

## 2.2 Апаратне забезпечення системи моніторингу напруги електромережі для виявлення аварійних відключень

### 2.2.1 Модуль ESP32 DevKit

Модуль ESP32 DevKit є сучасною відлагоджувальною платою, призначеною для розробки вбудованих систем та IoT-пристроїв. В його основі лежить мікромодуль ESP-WROOM-32, який інтегрує високопродуктивний мікроконтролер, бездротові інтерфейси зв'язку та широкий набір периферійних інтерфейсів. Завдяки високому рівню інтеграції та доступності даний модуль широко використовується при створенні систем моніторингу, автоматизації та дистанційного керування (рис. 2.2).

Плата ESP32 DevKit містить сам мікромодуль ESP-WROOM-32, USB-UART перетворювач на базі CP2102, стабілізатор напруги, кварцові генератори та набір виводів для підключення зовнішніх пристроїв. Мікромодуль включає мікроконтролер ESP32-D0WDQ6 з двоядерною архітектурою, що забезпечує високу обчислювальну продуктивність. Тактова частота процесора може змінюватися в діапазоні від 80 до 240 МГц, що дозволяє оптимізувати співвідношення продуктивності та енергоспоживання.

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

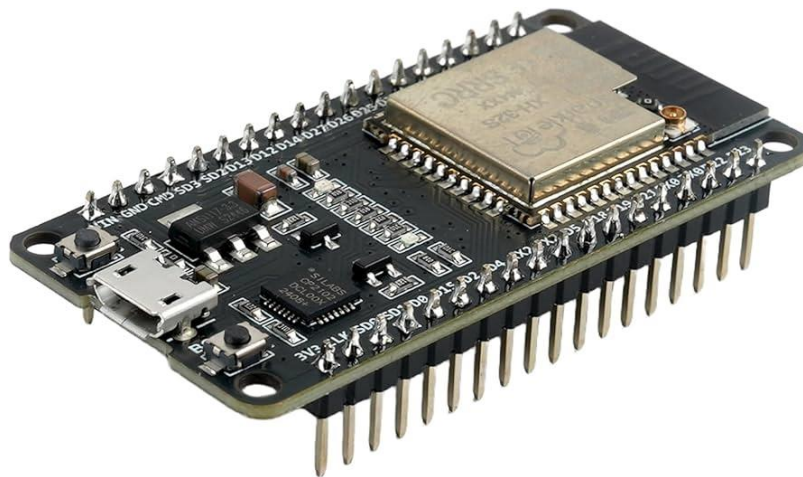


Рисунок 2.2 – Модуль ESP32 DevKit

Важливою особливістю модуля є наявність вбудованих засобів бездротового зв'язку. ESP32 підтримує стандарти Wi-Fi 802.11 та Bluetooth (включаючи BLE), що дозволяє реалізувати як локальну, так і віддалену передачу даних без використання додаткових модулів. Це є критично важливим для IoT-систем, оскільки забезпечує інтеграцію з хмарними сервісами та мобільними застосунками.

Принцип роботи модуля полягає у виконанні програмного коду, який зберігається у Flash-пам'яті, з одночасною взаємодією з периферійними пристроями через цифрові та аналогові інтерфейси. Мікроконтролер здійснює зчитування сигналів з датчиків, їх обробку, аналіз та формування керуючих впливів. Завдяки вбудованому стеку TCP/IP забезпечується безпосередня робота з мережевими протоколами, що дозволяє передавати дані до IoT-платформ у реальному часі.

Пам'ять мікроконтролера включає оперативну пам'ять SRAM обсягом близько 520 КБ та зовнішню Flash-пам'ять в 4 МБ, що забезпечує достатній ресурс для реалізації складних алгоритмів обробки даних та мережевої взаємодії. Крім того, наявність апаратних інтерфейсів (UART, SPI, I2C, I2S) дозволяє підключати різноманітні датчі, дисплеї, модулі зв'язку та виконавчі пристрої.

ESP32 DevKit має розвинену систему периферії, що включає багатоканальні АЦП (12-біт), ЦАП, ШІМ-канали, сенсорні входи та підтримку переривань. Це дозволяє реалізовувати задачі вимірювання аналогових сигналів (зокрема

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напруги), генерації керуючих сигналів та організації подійно-орієнтованої обробки.

Окремо слід відзначити енергоефективність модуля. ESP32 підтримує декілька режимів енергозбереження, включаючи режим глибокого сну, в якому споживання може знижуватися до десятків мікроампер. Це робить його придатним для автономних систем із резервним живленням, що є важливим для задач моніторингу аварійних відключень електроенергії. Основні параметри модуля ESP32 DevKit приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри модуля ESP32 DevKit

Параметр	Значення
Мікроконтролер	ESP32-D0WDQ6
Архітектура	Tensilica Xtensa LX6 (двоядерна, 32-біт)
Тактова частота	80–240 МГц
Оперативна пам'ять	~520 КБ SRAM
Flash-пам'ять	4 МБ
Wi-Fi	802.11 b/g/n (2.4 ГГц)
Bluetooth	v4.2 (BR/EDR + BLE)
GPIO	до 30 виводів
АЦП	12-біт, до 15 каналів
ЦАП	2 канали, 8-біт
Інтерфейси	UART, SPI, I2C, I2S, PWM
Живлення	5 В (через USB), 3.3 В (логіка)
Споживання	~80 мА (робочий), до 20 мкА (deep sleep)
Робоча температура	-40...+85 °С

Вибір ESP32 DevKit для реалізації комп'ютерної IoT-системи виявлення аварійних відключень електроенергії є технічно обґрунтованим з кількох причин. Модуль має вбудовані засоби бездротового зв'язку (Wi-Fi та Bluetooth), що дозволяє реалізувати передачу даних на IoT-платформу та інтеграцію з Telegram-

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ботом без використання додаткових комунікаційних модулів. Це спрощує апаратну частину системи та знижує її вартість.

Достатня обчислювальна потужність двоядерного процесора дозволяє одночасно виконувати кілька задач: вимірювання напруги, обробку сигналів, обмін даними з сервером, керування реле та оновлення інформації на дисплеї. Це особливо важливо для систем реального часу.

Наявність аналогових входів з 12-бітною розрядністю забезпечує можливість точного вимірювання параметрів електромережі, що є ключовою функцією розроблюваної системи. Підтримка енергозберігаючих режимів дозволяє ефективно використовувати резервне живлення (акумулятор), що забезпечує працездатність системи навіть при відсутності основного електроживлення.

Крім того, ESP32 має розвинену екосистему програмних засобів, велику кількість бібліотек та активну спільноту, що значно спрощує процес розробки та налагодження системи.

Отже, використання ESP32 DevKit дозволяє реалізувати функціонально насичену, енергоефективну та масштабовану IoT-систему з мінімальними апаратними витратами, що повністю відповідає вимогам поставленого завдання.

## 2.2.2 Модуль для вимірювання змінної напруги ZMPT101B

Модуль давача змінної напруги ZMPT101B є спеціалізованим вимірювальним пристроєм, призначеним для безпечного та точного визначення параметрів змінної напруги в електромережі. Він широко застосовується у вбудованих системах, зокрема в IoT-рішеннях, де необхідно здійснювати моніторинг електроживлення та передавати отримані дані для подальшого аналізу. Основою модуля є прецизійний трансформатор напруги ZMPT101B, який забезпечує гальванічну розв'язку між високовольтною мережею та низьковольтною частиною електронної системи, що є критично важливим для безпеки роботи мікроконтролера та користувача (рис. 2.3).

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

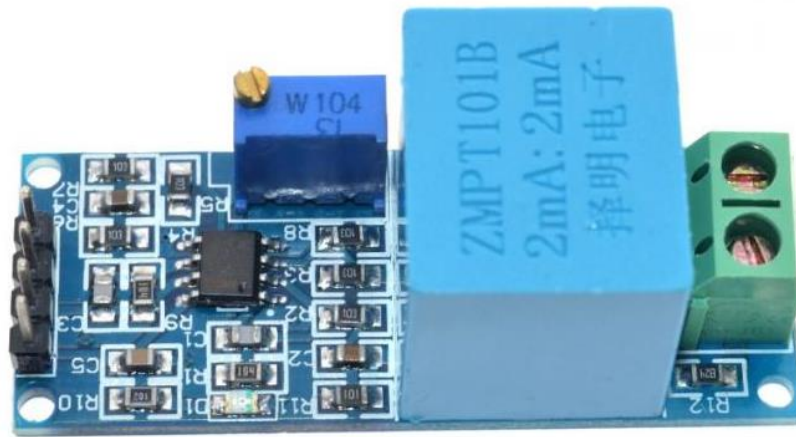


Рисунок 2.3 – Модуль для вимірювання змінної напруги ZMPT101B

Конструктивно модуль складається з декількох функціональних вузлів: трансформатора напруги, схеми попереднього ослаблення сигналу, операційного підсилювача та елементів налаштування. Трансформатор виконує первинне перетворення змінної напруги мережі у пропорційний низьковольтний сигнал. Далі цей сигнал надходить на підсилювальний каскад, реалізований на базі операційного підсилювача, який виконує функції масштабування, фільтрації та формування сигналу для подальшого зчитування.

У складі модуля передбачено багатооборотний потенціометр, який дозволяє виконувати калібрування вихідного сигналу та досягати необхідної точності вимірювання. Це дає змогу адаптувати модуль під конкретні умови експлуатації та характеристики мікроконтролера.

Принцип роботи модуля базується на трансформаторному перетворенні змінної напруги. Вхідна напруга подається на первинну обмотку трансформатора, де формується змінний магнітний потік. У вторинній обмотці індукуються пропорційна напруга значно меншої амплітуди. Далі цей сигнал підсилюється та зміщується відносно середнього рівня живлення (зазвичай  $VCC/2$ ), що дозволяє коректно обробляти змінний сигнал за допомогою АЦП мікроконтролера.

Вихід модуля є аналоговим і змінюється в діапазоні від 0 до напруги живлення, що забезпечує сумісність із більшістю мікроконтролерів, зокрема ESP32. При цьому амплітуда сигналу пропорційна вимірюваній напрузі, що

									Арк.
									27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ				

дозволяє визначати як миттєве, так і ефективне значення напруги після відповідної обробки.

Однією з ключових переваг ZMPT101B є наявність гальванічної розв'язки, яка досягається завдяки використанню трансформатора. Це виключає прямий електричний контакт між високовольтною мережею та низьковольтною частиною системи, що значно підвищує рівень електробезпеки та надійності роботи.

Модуль характеризується високою точністю та лінійністю вимірювань, що дозволяє використовувати його не лише для фіксації факту наявності напруги, але й для її кількісного аналізу. Завдяки цьому стає можливим реалізувати функції контролю перевищення або зниження напруги відносно допустимих меж, що є важливим для захисту електричного обладнання. В таблиці 2.2 зведені технічні параметри модуля ZMPT101B.

Таблиця 2.2 – Параметри модуля ZMPT101B

Параметр	Значення
Тип давача	Вимірювач змінної напруги
Діапазон вимірювання	до 250 В AC
Вихідний сигнал	Аналоговий (0–VCC)
Напруга живлення	5–30 В
Номінальний струм	2 мА
Коефіцієнт трансформації	1000:1000
Лінійність	≈0,1–0,2 %
Робоча частота	50–60 Гц
Температурний діапазон	–40...+70 °C

Використання модуля ZMPT101B у розроблюваній комп'ютерній IoT-системі є технічно обґрунтованим та доцільним з кількох причин. По-перше, модуль забезпечує безпечне вимірювання змінної напруги завдяки гальванічній розв'язці. Це особливо важливо при роботі з мережею 220 В, оскільки виключає ризик пошкодження мікроконтролера та підвищує загальну надійність системи.

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

По-друге, достатня точність і лінійність давача дозволяють реалізувати не лише функцію виявлення відключення електроенергії, але й контроль рівня напруги з можливістю визначення аварійних відхилень (перенапруга або занижена напруга). Це безпосередньо відповідає вимогам розроблюваної системи. По-третє, аналоговий вихід модуля забезпечує просту інтеграцію з мікроконтролером ESP32, який має вбудований АЦП. Це дозволяє мінімізувати кількість додаткових компонентів та спростити схемотехнічне рішення.

Наявність потенціометра дозволяє виконати точне калібрування системи, що є важливим для отримання достовірних результатів вимірювання в реальних умовах експлуатації. Крім того, модуль має компактні розміри, низьке енергоспоживання та просту схему підключення, що робить його зручним для використання у вбудованих IoT-системах з обмеженими ресурсами.

Отже, застосування ZMPT101B дозволяє реалізувати функцію точного, безпечного та надійного моніторингу напруги електромережі, що є ключовим елементом розроблюваної комп'ютерної системи.

### 2.2.3 Модуль LCD дисплея 1602

Дисплейний модуль LCD 1602 I2C є символьним рідкокристалічним індикатором, призначеним для відображення текстової інформації у вбудованих системах. Він широко застосовується в IoT-проектах завдяки простоті використання, низькому енергоспоживанню та достатній інформативності. Дисплей забезпечує відображення 16 символів у двох рядках, що є оптимальним для виведення поточних параметрів системи, станів та повідомлень (рис. 2.4).

Конструктивно модуль складається з двох основних частин: безпосередньо LCD-дисплея на базі контролера HD44780 та інтерфейсного I2C-адаптера, зазвичай реалізованого на базі мікросхеми PCF8574. Сам дисплей містить матрицю рідкокристалічних елементів, драйвери сегментів і контролер, який відповідає за формування зображення символів. Кожен символ формується у вигляді матриці 5×8 точок, що дозволяє відображати букви, цифри та спеціальні символи.

					<i>КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		29

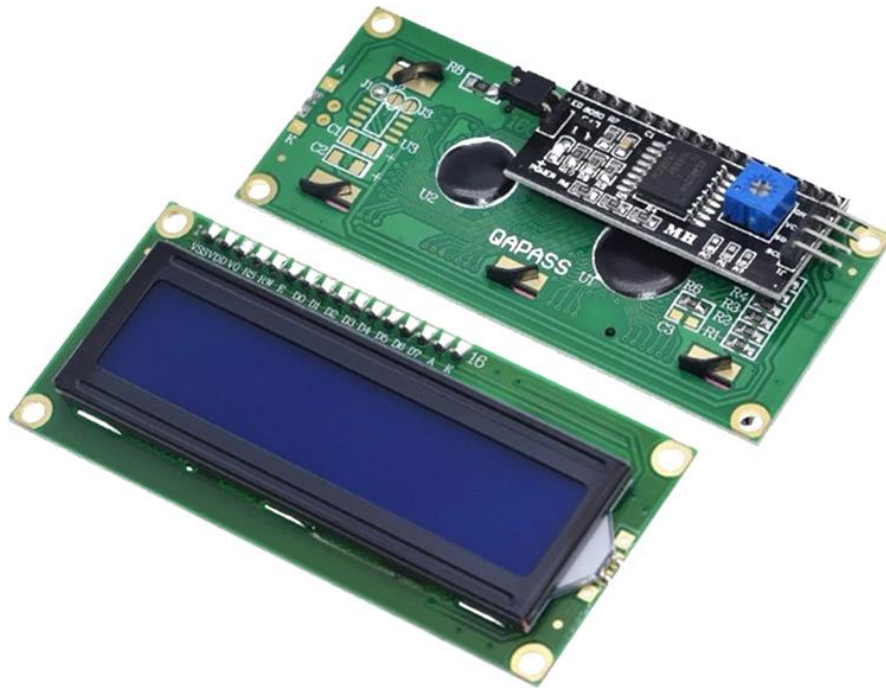


Рисунок 2.4 – Модуль LCD дисплея 1602

I2C-модуль виконує функцію перетворення послідовного цифрового інтерфейсу у паралельний інтерфейс, необхідний для роботи контролера дисплея. Це дозволяє значно зменшити кількість необхідних виводів мікроконтролера — замість 6–8 ліній використовується лише 2 сигнальні лінії (SDA та SCL), а також живлення. Таким чином забезпечується більш компактне та зручне підключення.

Принцип роботи дисплея базується на зміні орієнтації рідких кристалів під дією електричного поля. Контролер формує керуючі сигнали, які визначають, які сегменти матриці повинні бути активними для відображення конкретного символу. Дані для відображення передаються від мікроконтролера у вигляді команд та ASCII-кодів символів через I2C-інтерфейс. Адаптер PCF8574 декодує ці сигнали та передає їх у відповідному вигляді на контролер дисплея.

Живлення модуля становить 5 В, при цьому логічні рівні сигналів можуть бути сумісними з 3,3 В, що дозволяє використовувати дисплей разом із мікроконтролерами типу ESP32. Важливим елементом є світлодіодне підсвічування, яке забезпечує читабельність інформації в умовах недостатнього освітлення. Контраст дисплея регулюється за допомогою потенціометра, розташованого на I2C-модулі.

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

LCD 1602 I2C підтримує стандартний набір команд контролера HD44780, що забезпечує широкі можливості програмного керування: очищення дисплея, переміщення курсора, створення користувацьких символів, керування підсвічуванням та інші функції. Завдяки цьому модуль легко інтегрується в програмне забезпечення через популярні бібліотеки. Технічні параметри LCD дисплея 1602 наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні параметри LCD дисплея 1602

Параметр	Значення
Тип дисплея	Рідкокристалічний символний
Роздільна здатність	16 символів × 2 рядки
Контролер	HD44780 (або сумісний)
Інтерфейс	I2C (через PCF8574)
Кількість виводів	4 (VCC, GND, SDA, SCL)
Напруга живлення	5 В
Логічний рівень	3.3–5 В
Підсвічування	LED (синє/зелене)
Споживання	~1–2 мА (без підсвічування), до 20 мА (з підсвічуванням)
Розмір символу	5×8 точок
Робоча температура	0...+50 °С

Вибір LCD 1602 I2C для реалізації комп'ютерної IoT-системи є технічно обґрунтованим з огляду на функціональні та економічні аспекти. По-перше, дисплей забезпечує достатній рівень інформативності для відображення ключових параметрів системи, таких як значення напруги, стан живлення, режим роботи та стан реле. Формат 16×2 є оптимальним компромісом між розміром, вартістю та зручністю сприйняття інформації. По-друге, використання I2C-інтерфейсу дозволяє мінімізувати кількість задіяних виводів мікроконтролера ESP32, що є важливим при обмежених ресурсах GPIO. Це також спрощує схемотехнічну

реалізацію системи та підвищує її надійність. По-третє, дисплей має низьке енергоспоживання, що є важливим для системи з резервним живленням на основі акумулятора. Це дозволяє забезпечити тривалу автономну роботу у разі відключення електроенергії.

Крім того, LCD 1602 є одним із найпоширеніших дисплеїв у вбудованих системах, що забезпечує наявність великої кількості бібліотек, прикладів та технічної документації. Це значно спрощує процес розробки програмного забезпечення та налагодження системи. Також важливим фактором є низька вартість і доступність модуля на ринку, що робить його економічно доцільним вибором для реалізації цього проєкту.

Отже, використання LCD 1602 I2C дозволяє реалізувати простий, надійний та ефективний засіб локального відображення інформації, який повністю відповідає вимогам розроблюваної IoT-системи моніторингу електромережі.

#### 2.2.4 Зарядний модуль TP4056

Зарядний модуль TP4056 є спеціалізованим електронним пристроєм, призначеним для заряджання одноелементних літій-іонних (Li-Ion) або літій-полімерних (Li-Po) акумуляторів номінальною напругою 3,7 В. Він широко застосовується у вбудованих системах, портативній електроніці та IoT-проєктах завдяки простоті використання, компактності та наявності вбудованих функцій захисту (рис. 2.5).

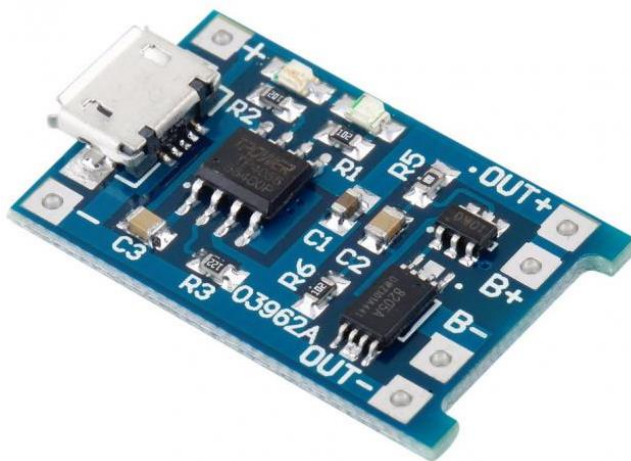


Рисунок 2.5 – Зарядний модуль TP4056

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Основою модуля є інтегральна мікросхема TP4056, яка реалізує алгоритм заряджання за методом постійного струму/постійної напруги (CC/CV), що є стандартом для літієвих акумуляторів. Конструктивно модуль складається з кількох основних функціональних вузлів: мікросхеми TP4056, мікросхеми захисту акумулятора, польових транзисторів для керування навантаженням, резистивних елементів для задання струму заряджання, індикаторних світлодіодів та роз'ємів підключення. Живлення подається через роз'єм micro-USB або контактні площадки, а акумулятор підключається до виводів V+ та V-. Для живлення зовнішнього навантаження передбачені окремі виходи OUT+ та OUT-.

Принцип роботи модуля базується на двоетапному процесі заряджання. На першому етапі здійснюється заряджання постійним струмом, значення якого задається резистором (до 1 А). Після досягнення напруги 4,2 В модуль переходить у режим стабілізації напруги, поступово зменшуючи струм. Коли струм знижується приблизно до 1/10 від номінального значення, заряджання автоматично припиняється.

Модуль також містить систему захисту акумулятора, яка реалізує такі функції:

- захист від перезаряду (обмеження напруги до 4,2 В);
- захист від глибокого розряду (відключення при ~2,4–2,5 В);
- захист від короткого замикання та перевантаження по струму;
- захист від зворотного підключення.

Завдяки вбудованій терморегуляції мікросхема TP4056 автоматично зменшує струм заряджання при перегріві, що підвищує надійність і безпечність роботи.

Світлодіодна індикація дозволяє візуально контролювати процес заряджання: один світлодіод сигналізує про процес заряджання, інший — про завершення. Це спрощує експлуатацію пристрою без необхідності додаткових вимірювальних засобів. Параметри зарядного модуля TP4056 наведені в таблиці 2.4.

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4 – Параметри зарядного модуля TP4056

Параметр	Значення
Мікросхема	TP4056 + DW01A (захист)
Тип акумулятора	Li-Ion / Li-Po (1 елемент, 3,7 В)
Вхідна напруга	4,5–5,5 В
Напруга повного заряду	4,2 В
Струм заряджання	до 1 А (регульований)
Метод заряджання	CC/CV
Точність заряду	≈1,5 %
Захист	перезаряд, перерозряд, КЗ, перевантаження
Поріг відключення (розряд)	~2,4–2,5 В
Інтерфейс живлення	Micro-USB / контакти
Індикація	LED (заряд / завершено)
Робоча температура	–10...+85 °С

Використання зарядного модуля TP4056 у розроблюваній комп'ютерній IoT-системі є технічно доцільним та обґрунтованим. По-перше, модуль забезпечує правильний алгоритм заряджання літієвого акумулятора за стандартом CC/CV, що гарантує безпечну експлуатацію та довговічність джерела живлення. Це особливо важливо для системи, яка повинна працювати автономно під час аварійних відключень. По-друге, наявність вбудованого захисту дозволяє уникнути використання додаткових схем контролю, що спрощує апаратну частину системи та зменшує її вартість. Захист від перерозряду є критично важливим для запобігання деградації акумулятора. По-третє, модуль має просту інтеграцію: він потребує мінімальної кількості зовнішніх компонентів і легко підключається до акумулятора та джерела живлення (через USB або адаптер). Це значно спрощує розробку та монтаж системи.

Крім того, компактні габарити та низька вартість роблять його оптимальним вибором для вбудованих IoT-рішень. Можливість регулювання струму заряджання дозволяє адаптувати модуль під конкретний тип акумулятора, що підвищує

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

універсальність рішення. Важливою перевагою є також можливість роботи з резервним живленням: у поєднанні з акумулятором та підвищуючим перетворювачем модуль забезпечує безперервне живлення системи навіть при відсутності мережевої напруги.

Застосування TP4056 дозволяє реалізувати надійну, безпечну та економічно ефективну підсистему заряджання акумулятора, що є невід'ємною складовою комп'ютерної IoT-системи моніторингу електромережі.

### 2.2.5 Підвищуючий перетворювач MT3608

Регульований підвищуючий перетворювач MT3608 є імпульсним DC-DC перетворювачем, призначеним для підвищення постійної напруги до необхідного рівня. Він широко застосовується у вбудованих системах, автономних пристроях та IoT-рішеннях, де необхідно отримати стабільну напругу живлення від джерел із нижчим рівнем напруги, таких як акумулятори. Завдяки високій ефективності, компактним розмірам та простоті використання цей модуль є одним із найпоширеніших рішень для реалізації підсистем живлення (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Підвищуючий перетворювач MT3608

Конструктивно модуль побудований на базі інтегральної мікросхеми MT3608, яка є високочастотним імпульсним перетворювачем типу boost (step-up). До складу модуля входять: індуктивність (дросель), швидкодіючий діод Шотткі, вхідні та вихідні конденсатори, резистивний дільник напруги, підлаштувальний

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

потенціометр для регулювання вихідної напруги, а також сама керуюча мікросхема. Така структура забезпечує ефективне перетворення енергії з мінімальними втратами.

Принцип роботи перетворювача базується на імпульсному накопиченні енергії в індуктивності. При подачі напруги на вхід мікросхема періодично відкриває і закриває внутрішній ключ, що призводить до накопичення енергії в магнітному полі дроселя. Після закриття ключа енергія передається через діод на вихід, підвищуючи напругу. Регулювання вихідної напруги здійснюється шляхом зміни коефіцієнта заповнення імпульсів (PWM) відповідно до зворотного зв'язку.

Завдяки використанню імпульсного принципу перетворення досягається високий коефіцієнт корисної дії, який може перевищувати 90 %. Це особливо важливо для автономних систем із живленням від акумулятора, оскільки дозволяє мінімізувати втрати енергії та збільшити час роботи. Перетворювач також характеризується відносно високим вихідним струмом — до 2 А, що дозволяє жити не лише логічні компоненти, але й додаткові навантаження, такі як дисплеї або модулі зв'язку. Параметри перетворювача МТ3608 наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Параметри перетворювача МТ3608

Параметр	Значення
Тип перетворювача	Підвищуючий (Boost, DC-DC)
Мікросхема	МТ3608
Вхідна напруга	2–24 В
Вихідна напруга	5–28 В (регульована)
Максимальний струм	до 2 А
ККД	до 93 %
Частота перемикання	~1,2 МГц
Тип регулювання	PWM (широтно-імпульсна модуляція)
Елементи	дросель, діод Шоттки, конденсатори
Регулювання напруги	потенціометр
Робоча температура	–40...+85 °С

Використання MT3608 у розроблюваній комп'ютерній IoT-системі є технічно обґрунтованим, оскільки він вирішує ключову задачу стабілізації живлення при роботі від акумулятора.

Система передбачає використання Li-Ion акумулятора з номінальною напругою близько 3,7 В, яка змінюється в процесі розряду. Для коректної роботи мікроконтролера ESP32 та периферійних модулів необхідне стабільне живлення 5 В. MT3608 дозволяє ефективно підвищити напругу до необхідного рівня незалежно від ступеня заряду акумулятора.

Можливість регулювання вихідної напруги забезпечує універсальність застосування та спрощує інтеграцію з різними компонентами системи. Один і той самий модуль може бути використаний для живлення різних вузлів.

Крім того, компактні розміри, низька вартість та простота підключення роблять MT3608 оптимальним рішенням для використання у вбудованих системах. Він не потребує складної обв'язки і може бути швидко інтегрований у загальну схему пристрою.

Застосування підвищуючого перетворювача MT3608 дозволяє забезпечити стабільне та ефективне живлення всіх компонентів системи, що є необхідною умовою її надійного функціонування в умовах нестабільного електропостачання.

### 2.3 Електрична принципова схема пристрою для моніторингу напруги електромережі

Електрична принципова схема пристрою для моніторингу напруги електромережі, зображена на рисунку 2.7. Вона відображає взаємозв'язок між основними функціональними вузлами пристрою, а також конкретні підключення елементів до мікроконтролерного модуля ESP32 DevKit. Схема реалізує функції вимірювання змінної напруги електромережі, обробки отриманих даних, локального відображення інформації, дистанційного передавання даних, а також керування електричним навантаженням через релейний модуль.

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



OUT підключається до аналогового входу ESP32 GPIO34. Це дозволяє виконувати вимірювання миттєвого значення напруги для подальшого обчислення її ефективного значення.

LCD дисплей підключається до мікроконтролера через інтерфейс I2C. Лінія SDA підключається до GPIO21, а лінія SCL — до GPIO22 мікроконтролера ESP32. Таке підключення відповідає стандартній конфігурації I2C для ESP32 та дозволяє здійснювати обмін даними лише за допомогою двох сигнальних ліній.

Модуль реле використовується для керування зовнішнім електричним навантаженням. Його вхідний керуючий контакт IN підключається до цифрового виходу мікроконтролера GPIO25. Комутаційна частина реле включається в розрив лінії живлення навантаження, що дозволяє вмикати або вимикати його залежно від стану керуючого сигналу.

У схемі також передбачено використання резистивних елементів, які виконують допоміжні функції. Зокрема, можуть використовуватися підтягуючі резистори для ліній I2C R3 та R4, а також резистори R1 та R2 для формування дільника напруги у вхідному вузлі.

Всі компоненти системи об'єднані спільною шиною заземлення (GND), що є обов'язковою умовою коректної роботи аналогових та цифрових сигналів. Особливу увагу в схемі приділено розділенню високовольтної та низьковольтної частин для забезпечення електробезпеки.

Розроблена електрична принципова схема забезпечує повну інтеграцію всіх функціональних вузлів системи: вимірювання напруги, обробку даних, відображення інформації, дистанційний моніторинг та керування навантаженням.

					<i>КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						39
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### 3.1 Алгоритм роботи IoT-системи моніторингу напруги електромережі для виявлення аварійних відключень

Алгоритм роботи IoT-системи базується на безперервному моніторингу параметрів електромережі, обробці отриманих даних, прийнятті рішень щодо стану живлення та реалізації функцій інформування і керування. Робота системи починається з етапу ініціалізації, під час якого мікроконтролер виконує налаштування всіх периферійних модулів, інтерфейсів та внутрішніх ресурсів. Зокрема, ініціалізуються порти введення-виведення, запускається АЦП для роботи з модулем вимірювання напруги, налаштовується інтерфейс I2C для взаємодії з дисплеєм, а також встановлюється з'єднання з бездротовою мережею Wi-Fi. Після успішного підключення до мережі здійснюється ініціалізація взаємодії з IoT-платформою.

Після завершення ініціалізації система переходить у основний цикл роботи, який виконується безперервно (рис. 3.1). На першому етапі циклу здійснюється зчитування аналогового сигналу з модуля давача змінної напруги. Отримані значення оцифровуються і обробляються для визначення ефективного значення напруги. Для підвищення точності вимірювання використовується усереднення і фільтрація вибірки значень за певний інтервал часу.

Далі виконується аналіз отриманого значення напруги шляхом порівняння з наперед заданими пороговими значеннями. Якщо напруга знаходиться в межах допустимого діапазону, система працює у штатному режимі. У цьому випадку поточне значення напруги передається на дисплей для локального відображення, а також періодично надсилається на IoT-платформу для віддаленого моніторингу та збереження історії даних.

					<i>КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробила</i>		<i>Остапишин С.В.</i>			<i>Практична частина</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>					40	17
<i>Рецензент</i>		<i>Деркач М.В.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІз-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Е.В.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>						

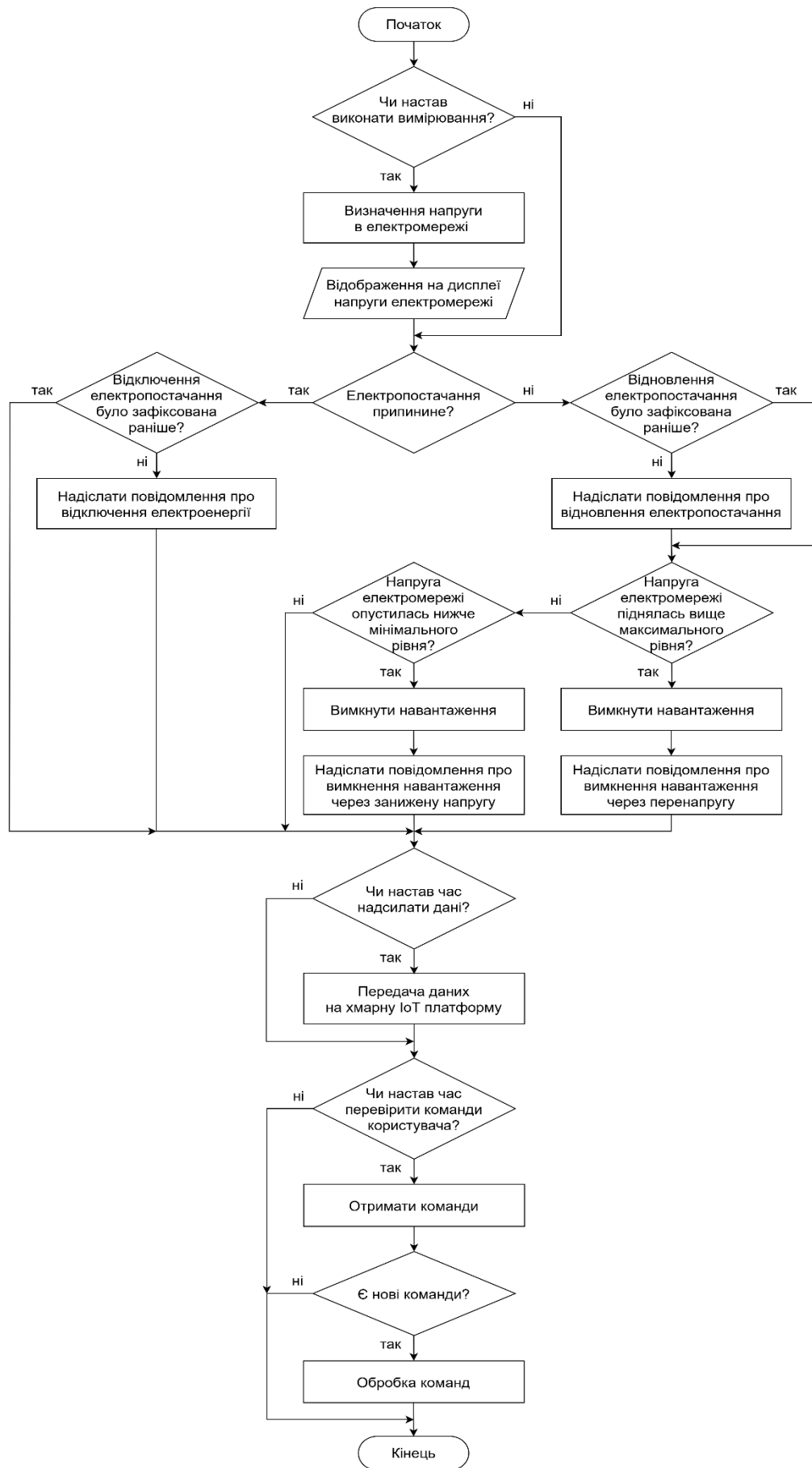


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму роботи підпрограми loop у системі моніторингу напруги електромережі

У разі виявлення відхилення напруги від допустимих меж алгоритм переходить у режим обробки аварійної ситуації. Якщо напруга перевищує верхній поріг або знижується нижче допустимого рівня, формується сигнал на вимкнення навантаження шляхом подачі керуючого сигналу на модуль реле. Одночасно з цим система формує повідомлення про аварійний стан, яке передається користувачу через Telegram-бота. У повідомленні може міститися інформація про тип аварії (перенапруга, занижена напруга або повне відключення), а також поточне значення напруги.

Особливим випадком є повне зникнення напруги в електромережі. У такій ситуації система переходить на резервне живлення від акумулятора. Завдяки цьому мікроконтролер продовжує функціонувати та має можливість зафіксувати факт відключення. Алгоритм формує відповідне повідомлення та надсилає його користувачу. При цьому може також виконуватися запис події в IoT-платформу для подальшого аналізу.

Після відновлення напруги система автоматично визначає повернення параметрів до нормального стану. У цьому випадку формується сигнал на повторне ввімкнення навантаження (за умови відповідного режиму роботи), а також надсилається повідомлення про відновлення електропостачання. Це дозволяє користувачу оперативно отримувати інформацію про стан системи.

Окремим елементом алгоритму є обробка команд, що надходять з IoT-платформи або Telegram-бота. Користувач має можливість дистанційно керувати станом реле, примусово вмикаючи або вимикаючи навантаження незалежно від автоматичного режиму. Для цього система періодично перевіряє наявність вхідних команд і, у разі їх отримання, виконує відповідні дії.

Паралельно з основними функціями система здійснює контроль стану живлення, зокрема рівня заряду акумулятора, та забезпечує стабільну роботу всіх модулів. Вся інформація про стан системи періодично оновлюється на дисплеї, що дозволяє здійснювати локальний контроль без використання зовнішніх засобів.

Запропонований алгоритм забезпечує комплексну реалізацію функцій моніторингу, аналізу, керування та інформування. Він дозволяє ефективно

					<i>КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		42

реагувати на зміни стану електромережі, забезпечувати захист підключеного обладнання та надавати користувачу повну інформацію про роботу системи як локально, так і дистанційно.

### 3.2 Розробка програмного забезпечення

#### 3.2.1 Ініціалізація системи та підключення до мережевих сервісів

Підпрограма `setup()` виконує початкову ініціалізацію апаратних і програмних компонентів системи та запускається один раз після увімкнення або перезавантаження мікроконтролера (рис. 3.2).

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASS);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Connecting WiFi");
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  lcd.clear();
  lcd.print("WiFi Connected");
  client.setInsecure();
  // Thingier пещує
  thing["voltage"] >> [](pson &out) {
    out = voltageRMS;
  };
  thing["relay"] << [](pson &in) {
    relayState = (bool)in;
    digitalWrite(RELAY_PIN, relayState);
  };
  sendTelegram("Система запущена");
}
```

Рисунок 3.2 – Лістинг коду підпрограми `setup()`

На початку виконується налаштування режиму роботи виводу, до якого підключено модуль реле. Наступним етапом є ініціалізація дисплея. Викликаються

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

функції `lcd.init()` та `lcd.backlight()`, що забезпечують запуск модуля та увімкнення підсвічування. Після цього на дисплей виводиться повідомлення про процес підключення до мережі Wi-Fi, що реалізується за допомогою функцій `lcd.setCursor()` та `lcd.print()`. Це дозволяє користувачу в реальному часі відстежувати стан системи.

Підключення до бездротової мережі здійснюється за допомогою функції `WiFi.begin()`, де використовуються попередньо задані облікові дані. У циклі `while` перевіряється статус з'єднання `WiFi.status()`, і поки підключення не встановлено, відбувається затримка та виведення символів у послідовний порт для індикації процесу. Після успішного підключення дисплей очищається, і на ньому відображається повідомлення про встановлення з'єднання.

Важливою частиною ініціалізації є налаштування ресурсів IoT-платформи `Thingier.io`. Створюється ресурс "voltage", який працює в режимі читання та повертає значення ефективної напруги `voltageRMS`. Також реалізується ресурс "relay" для керування станом реле: при отриманні значення від платформи змінюється логічна змінна `relayState` і відповідно формується сигнал на керуючому виводі мікроконтролера. Такий підхід забезпечує двосторонню взаємодію з хмарною платформою.

На завершальному етапі підпрограми викликається функція `sendTelegram()`, яка надсилає повідомлення про запуск системи. Це дозволяє користувачу оперативно отримати підтвердження про успішну ініціалізацію та готовність пристрою до роботи.

### 3.2.2 Реалізація основного циклу програми

Підпрограма `loop()` реалізує безперервний цикл функціонування IoT-системи, в якому здійснюється опрацювання даних, аналіз стану електромережі, відображення інформації, а також взаємодія з хмарною платформою та Telegram-ботом. На початку кожної ітерації викликається функція `thing.handle()`, яка забезпечує обробку запитів від IoT-платформи та підтримує активне з'єднання з

					<i>КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

сервером Thingier.io. Це дозволяє системі реагувати на віддалені команди користувача в реальному часі.

Блок вимірювання реалізовано з використанням неблокуючого таймера на основі функції `millis()`. Якщо інтервал між вимірюваннями перевищує одну секунду, виконується оновлення значення змінної `lastMeasure` та виклик функції `readVoltageRMS()`, яка обчислює ефективне значення напруги. Паралельно здійснюється оновлення інформації на дисплеї: у першому рядку відображається поточне значення напруги, а в другому — стан реле. Це забезпечує локальну індикацію параметрів системи (рис. 3.3).

```
void loop() {  
  thing.handle();  
  // --- Вимірювання ---  
  if (millis() - lastMeasure > 1000) {  
    lastMeasure = millis();  
    voltageRMS = readVoltageRMS();  
    Serial.print("Voltage: ");  
    Serial.println(voltageRMS);  
    // --- Відображення ---  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print("V:");  
    lcd.print(voltageRMS);  
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print(relayState ? "Relay:ON" : "Relay:OFF");  
  }  
}
```

Рисунок 3.3 – Частина коду підпрограми `loop()` для вимірювання напруги та відображення на дисплеї

Наступний логічний блок відповідає за аналіз стану електромережі. Якщо значення напруги є критично низьким (менше 50 В), система інтерпретує це як повне відключення електроживлення. У такому випадку перевіряється попередній стан змінної `powerLost`, і якщо відключення зафіксовано вперше, формується відповідне повідомлення у Telegram. При відновленні напруги виконується зворотна перевірка, і користувач отримує повідомлення про відновлення електропостачання.

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

У межах цього ж блоку реалізовано контроль допустимого діапазону напруги. Якщо значення перевищує встановлений верхній поріг VOLTAGE\_MAX, система визначає ситуацію як перенапругу та негайно вимикає реле шляхом подачі відповідного сигналу на керуючий пін. Аналогічна логіка застосовується і при зниженні напруги нижче допустимого рівня VOLTAGE\_MIN. В обох випадках здійснюється інформування користувача через Telegram із поясненням причини відключення навантаження. Такий підхід забезпечує захист електропристроїв від аварійних режимів роботи (рис. 3.4).

```
if (voltageRMS < 50) {
  if (!powerLost) {
    powerLost = true;
    sendTelegram("ВІДКЛЮЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ!");
  }
  else {
    if (powerLost) {
      powerLost = false;
      sendTelegram("Електропостачання ВІДНОВЛЕНО");
    }
    // Перенапруга / занижена
    if (voltageRMS > VOLTAGE_MAX) {
      digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
      relayState = false;
      sendTelegram("ПЕРЕНАПРУГА! Навантаження вимкнено");
    }
    if (voltageRMS < VOLTAGE_MIN) {
      digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
      relayState = false;
      sendTelegram("ЗАНИЖЕНА НАПРУГА! Навантаження вимкнено");
    }
  }
}
```

Рисунок 3.4 – Частина коду підпрограми loop() для контролю допустимого діапазону напруги

Передача даних на IoT-платформу реалізується періодично з інтервалом 5 секунд. За допомогою функції thing.stream() відбувається відправлення актуального значення напруги у відповідний ресурс платформи. Це дозволяє здійснювати віддалений моніторинг параметрів електромережі та зберігати історію змін (рис. 3.5).

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

```

// --- Передача на Thinger ---
if (millis() - lastSend > 5000) {
    lastSend = millis();
    thing.stream(thing["voltage"]);
}

```

Рисунок 3.5 – Частина коду підпрограми loop() для передачі даних на IoT-платформу

Окремий блок коду відповідає за обробку команд, отриманих від Telegram-бота. З інтервалом у 3 секунди виконується перевірка наявності нових повідомлень за допомогою методу getUpdates(). У разі їх наявності здійснюється послідовна обробка кожного повідомлення (рис. 3.6).

```

// --- Telegram команди ---
if (millis() - lastTelegramCheck > 3000) {
    lastTelegramCheck = millis();
    int numNewMessages = bot.getUpdates(bot.last_message_received + 1);
    while (numNewMessages) {
        for (int i = 0; i < numNewMessages; i++) {
            String text = bot.messages[i].text;
            if (text == "/on") {
                digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
                relayState = true;
                sendTelegram("Реле УВИМКНЕНО");
            }
            if (text == "/off") {
                digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
                relayState = false;
                sendTelegram("Реле ВИМКНЕНО");
            }
            if (text == "/status") {
                String msg = "Напруга: " + String(voltageRMS) + " V\n";
                msg += relayState ? "Реле: ON" : "Реле: OFF";
                sendTelegram(msg);
            }
        }
        numNewMessages = bot.getUpdates(bot.last_message_received + 1);
    }
}

```

Рисунок 3.6 – Частина коду підпрограми loop() для обробки команд від Telegram-бота

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Реалізовано підтримку трьох основних команд: “/on” — для увімкнення реле, “/off” — для його вимкнення та “/status” — для отримання поточного стану системи. При виконанні команд змінюється стан відповідного GPIO-виводу та оновлюється змінна relayState, а також формується відповідне повідомлення-відповідь користувачу.

### 3.2.3 Реалізація обчислення ефективного значення напруги у функції readVoltageRMS()

Функція readVoltageRMS() призначена для визначення ефективного (середньоквадратичного) значення змінної напруги на основі дискретних вимірювань аналогового сигналу. Даний підхід є стандартним у задачах вимірювання змінних електричних величин, оскільки саме RMS-значення найбільш коректно відображає енергетичний еквівалент напруги в електромережі (рис. 3.7).

```
float readVoltageRMS() {  
    int samples = 200;  
    float sum = 0;  
    for (int i = 0; i < samples; i++) {  
        int adc = analogRead(VOLTAGE_PIN);  
        float v = (adc * VREF) / ADC_RES;  
        sum += v * v;  
        delayMicroseconds(200);  
    }  
    float mean = sum / samples;  
    float rms = sqrt(mean);  
    return rms * calibrationFactor;  
}
```

Рисунок 3.7 – Лістинг функції readVoltageRMS()

На початку підпрограми задається кількість вибірок samples, яка визначає точність обчислення. У даному випадку використовується 200 вимірювань, що є компромісом між швидкістю та точністю. Далі ініціалізується змінна sum, яка використовується для накопичення суми квадратів миттєвих значень напруги.

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

У циклі for виконується послідовне зчитування значень з аналогового входу мікроконтролера за допомогою функції analogRead(). Отримане цифрове значення перетворюється у фізичну напругу шляхом масштабування відносно опорної напруги VREF та розрядності АЦП ADC\_RES. Таким чином формується миттєве значення сигналу  $v$  у вольтах.

Кожне отримане значення підноситься до квадрату та додається до змінної sum. Така операція є ключовою для подальшого визначення середньоквадратичного значення. Між окремими вимірюваннями використовується затримка, що забезпечує рівномірну дискретизацію сигналу та дозволяє охопити кілька періодів змінної напруги, зменшуючи вплив шумів та випадкових відхилень.

Після завершення циклу обчислюється середнє значення квадратів сигналу шляхом ділення накопиченої суми на кількість вибірок. Далі застосовується функція sqrt(), яка дозволяє отримати RMS-значення сигналу відповідно до математичного визначення середньоквадратичної величини.

На завершальному етапі отримане значення множиться на калібрувальний коефіцієнт calibrationFactor. Це необхідно для врахування особливостей вимірювального модуля, зокрема коефіцієнта трансформації та похибок аналогового тракту. Значення цього коефіцієнта підбирається експериментально шляхом порівняння показів системи з еталонними вимірювальними приладами.

### 3.3 Реалізація дистанційного моніторингу

#### 3.3.1 Налаштування платформи Thinger

У процесі реалізації комп'ютерної IoT-системи моніторингу напруги електромережі було виконано налаштування хмарної платформи Thinger.io з метою забезпечення дистанційного збору, візуалізації та керування даними. Після входу до облікового запису було створено новий пристрій (Device), для якого задано унікальний ідентифікатор (Device ID) та ключ доступу (Device Credential). Дані параметри були використані в програмному коді мікроконтролера ESP32 для встановлення захищеного з'єднання з платформою.

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На наступному етапі було реалізовано підключення пристрою до платформи за допомогою бібліотеки ThingyESP32. У коді мікроконтролера було визначено відповідні ресурси (resources), які забезпечують обмін даними між пристроєм і сервером. Зокрема, було створено ресурс для передавання значення вимірної напруги, який дозволяє у реальному часі отримувати актуальні дані з датчика. Крім того, було реалізовано ресурс для керування реле, що дозволяє віддалено змінювати стан навантаження через веб-інтерфейс платформи.

Після підключення пристрою до Thingy.io було перевірено його статус у розділі Devices, де відображається стан з'єднання (online/offline). Успішне підключення підтверджувалося переходом пристрою в активний стан. Для подальшої роботи було налаштовано механізм передавання даних з використанням функції потокової передачі (streaming), що забезпечує періодичне оновлення значень напруги на сервері.

Для візуалізації отриманих даних було створено інформаційну панель. У її межах було додано віджет типу “Value Display” для відображення поточного значення напруги, а також графічний елемент (Chart), який дозволяє аналізувати зміну напруги в часі. Це забезпечило можливість спостереження за динамікою параметрів електромережі та виявлення аномальних режимів роботи (рис. 3.8).

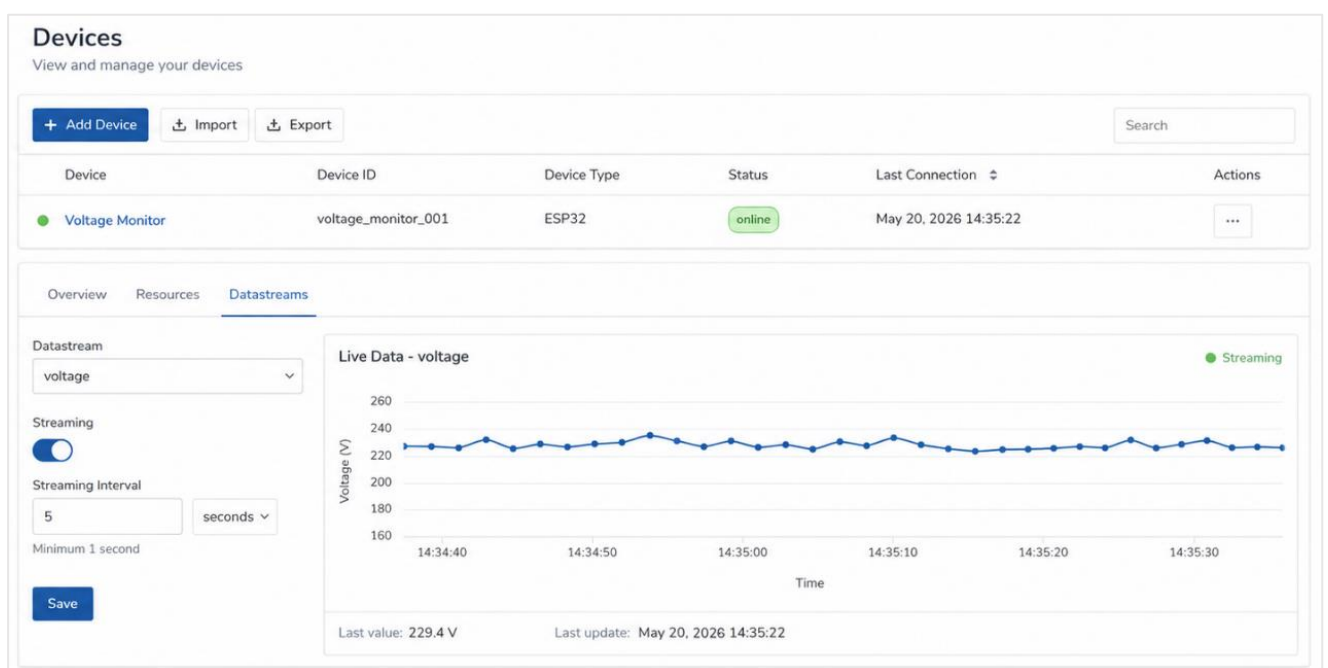


Рисунок 3.8 – Створення інформаційної панелі в платформі Thingy

З метою реалізації функції керування навантаженням було додано інтерактивний елемент типу “Switch”, який підключено до відповідного ресурсу керування реле. Це дозволило змінювати стан виконавчого пристрою безпосередньо з веб-інтерфейсу або мобільного застосунку. Таким чином було забезпечено двосторонній зв’язок між користувачем і системою.

Окрему увагу було приділено організації збереження історичних даних. Для цього було використано механізм Data Buckets, який дозволяє накопичувати виміряні значення напруги з певною періодичністю. Це дало змогу виконувати подальший аналіз, будувати графіки за тривалий період та оцінювати стабільність електромережі.

Після завершення налаштування було проведено тестування працездатності системи. Зокрема, перевірено коректність передавання даних, реакцію платформи на зміну стану реле, а також відображення інформації на панелі керування. Результати тестування підтвердили, що платформа Thinger.io забезпечує надійний обмін даними, зручний інтерфейс користувача та достатню функціональність для реалізації задачі дистанційного моніторингу та керування.

### 3.3.2 Створення та налаштування Telegram бота

У процесі реалізації системи було створено та налаштовано Telegram-бота, який забезпечує оперативне інформування користувача про стан електромережі та надає можливість дистанційного керування навантаженням. Для цього було використано стандартні засоби платформи Telegram, зокрема сервіс BotFather, за допомогою якого було створено нового бота та отримано унікальний токен доступу. Отриманий токен було інтегровано в програмний код мікроконтролера ESP32 для забезпечення взаємодії з API Telegram.

На наступному етапі було визначено ідентифікатор користувача (Chat ID), необхідний для адресної передачі повідомлень. Для цього було використано тестове надсилання повідомлення боту, після чого за допомогою відповідного запиту до Telegram API було отримано значення Chat ID. Це значення також було включено до програмного коду системи, що забезпечило можливість надсилання повідомлень безпосередньо користувачу. (рис. 3.9).

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

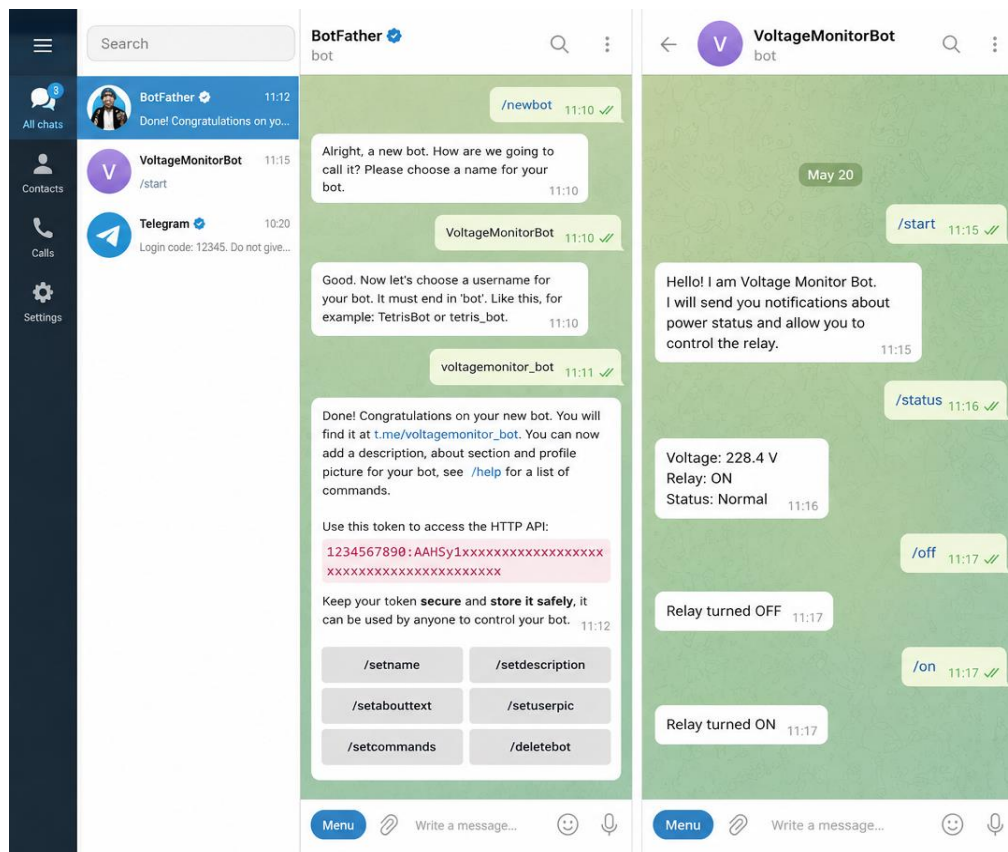


Рисунок 3.9 – Процес створення та налаштування Telegram бота

У програмній частині було реалізовано взаємодію з Telegram API за допомогою бібліотеки UniversalTelegramBot, яка працює поверх захищеного клієнта WiFiClientSecure. Це дозволило забезпечити обмін даними через HTTPS-з'єднання, що є необхідною умовою для роботи з сервісами Telegram.

Функціонально бот було налаштовано на виконання двох основних задач: надсилання повідомлень про події та обробка вхідних команд користувача. У першому випадку було реалізовано формування текстових повідомлень, які автоматично генеруються системою при настанні певних умов. Зокрема, бот надсилає повідомлення про зникнення напруги в електромережі, її відновлення, а також про перевищення або зниження напруги за межі допустимого діапазону. Повідомлення містять інформативний текст, що дозволяє користувачу швидко оцінити ситуацію.

У другому випадку було реалізовано механізм прийому та обробки команд користувача. Для цього система періодично виконує запит до сервера Telegram з

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

метою перевірки наявності нових повідомлень. У разі отримання команд вони аналізуються та порівнюються з наперед визначеним переліком. Було реалізовано базові команди керування, такі як увімкнення реле (/on), вимкнення реле (/off), а також отримання поточного стану системи (/status). Після виконання відповідної команди система надсилає підтвердження користувачу.

Також синхронізовано обмін повідомленнями з основним циклом роботи системи, щоб забезпечити стабільність функціонування та уникнути блокування виконання основних задач. Для цього обробка Telegram-запитів виконувалася періодично з використанням таймерів на основі функції millis(), що дозволило реалізувати неблокуючу логіку роботи.

Після завершення налаштування було проведено тестування роботи Telegram-бота в різних режимах. Зокрема, перевірено надсилання повідомлень при відключенні електроенергії, реакцію на відновлення живлення, а також коректність виконання команд дистанційного керування. Результати тестування підтвердили стабільність обміну даними та зручність використання бота як інтерфейсу взаємодії з системою.

Створення та налаштування Telegram-бота дозволило реалізувати ефективний канал оперативного інформування та дистанційного керування, що суттєво підвищує функціональність і практичну цінність розробленої IoT-системи.

### 3.4 Результати моделювання та тестування системи

На початковому етапі перевірки працездатності розроблюваної IoT-системи було виконано моделювання її роботи в середовищі Circuit Designer. У межах моделювання було сформовано віртуальну електричну схему, що відтворює структуру проєктованої системи, зокрема мікроконтролерний модуль ESP32, модуль вимірювання напруги, релейний модуль, дисплей та джерела живлення. Оскільки середовище має обмеження щодо моделювання високовольтних сигналів, робота давача змінної напруги була апроксимована за допомогою

					<i>КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		53

генератора аналогового сигналу, що дозволило імітувати зміну рівня напруги на вході АЦП мікроконтролера.

У процесі моделювання було реалізовано програмну логіку системи та перевірено коректність взаємодії між її компонентами. Зокрема, було досліджено процес зчитування аналогового сигналу, обчислення ефективного значення напруги та відображення результатів на віртуальному дисплеї. Окремо було протестовано алгоритм порівняння виміряного значення з пороговими рівнями, що дозволило перевірити коректність визначення аварійних режимів, таких як занижена або підвищена напруга (рис. 3.10).

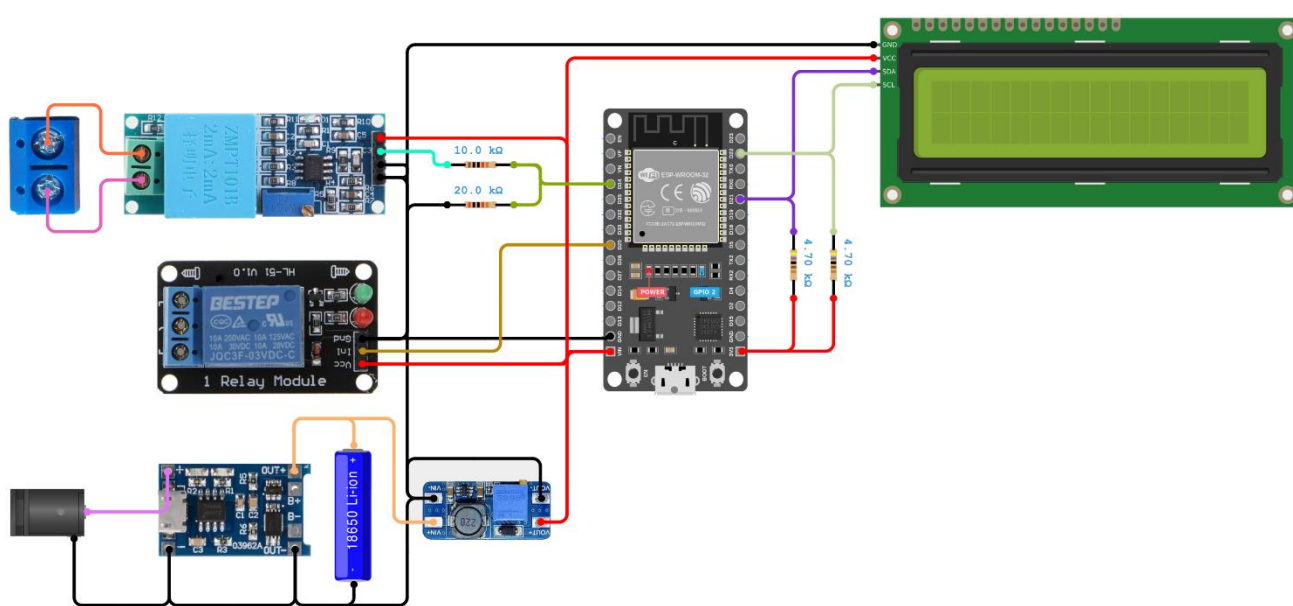


Рисунок 3.10 – Модель системи моніторингу напруги електромережі

Важливим етапом моделювання стала перевірка логіки керування реле. У процесі експериментів було змодельовано різні сценарії зміни вхідного сигналу, що відповідають нормальному режиму, аварійному зниженню та підвищенню напруги. Результати показали, що система коректно реагує на зміну параметрів: при виході напруги за допустимі межі формується сигнал на вимкнення навантаження. Також було перевірено циклічність роботи алгоритму та відсутність критичних затримок у виконанні основного циклу.

Після завершення етапу моделювання було здійснено перехід до створення фізичного прототипу системи. Всі компоненти було змонтовано відповідно до

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

розробленої електричної принципової схеми. Особливу увагу приділено правильності підключення давача змінної напруги, оскільки ці елементи працюють з мережею 220 В і потребують дотримання вимог електробезпеки. Після складання схеми було виконано первинну перевірку живлення, яка підтвердила стабільність вихідної напруги 5 В та коректність роботи вузла резервного живлення на основі акумулятора (рис. 3.11).

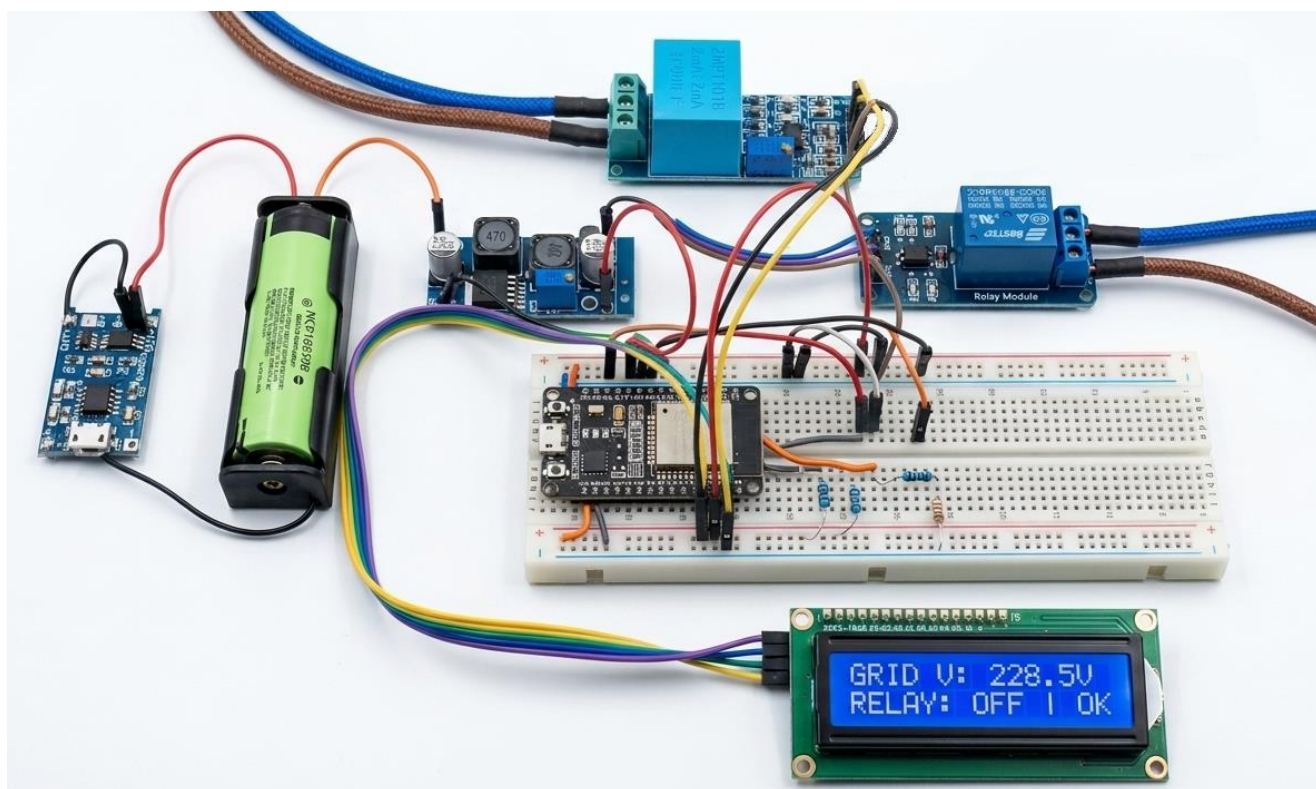


Рисунок 3.11 – Прототип системи моніторингу напруги електромережі

Наступним етапом стало тестування функції вимірювання напруги. Для цього паралельно до входу системи було підключено цифровий мультиметр, що використовувався як еталонний вимірювальний прилад. Було проведено серію експериментів при різних значеннях напруги, в результаті чого виконано калібрування коефіцієнта перетворення для модуля ZMPT101B. Після калібрування похибка вимірювання знаходилася в допустимих межах і не перевищувала кількох відсотків.

У процесі подальшого тестування було перевірено роботу алгоритму виявлення аварійних режимів. Шляхом штучного зниження та підвищення

									Арк.
									55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ				

напруги було встановлено, що система своєчасно фіксує відхилення та виконує відповідні дії — вимкнення навантаження через реле та формування повідомлення. Окремо було змодельовано повне відключення електроенергії, при якому система переходила на живлення від акумулятора та надсилала повідомлення про аварійну ситуацію. Після відновлення живлення система коректно поверталася до штатного режиму роботи.

Також було проведено тестування взаємодії з хмарною платформою та Telegram-ботом. Перевірено передачу даних на IoT-платформу, відображення значень напруги на інформаційній панелі, а також виконання команд дистанційного керування. Telegram-бот успішно надсилав повідомлення про всі події, а також коректно обробляв команди користувача, що дозволяло змінювати стан реле.

Завершальним етапом стало комплексне тестування системи в умовах, наближених до реальних. У процесі тривалого функціонування було оцінено стабільність роботи пристрою, відсутність збоїв у передачі даних та коректність виконання алгоритму. Результати показали, що система працює надійно, забезпечує точне вимірювання параметрів електромережі та своєчасне інформування користувача.

					<i>КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		56

## РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Долікарська допомога при ураженні електричним струмом

Пошкодження організму, спричинені протіканням через нього електричного струму, електричною дугою або блискавкою, називаються електричною травмою. Електричні травми умовно поділяються на два види: місцеві електротравми, коли виникає місцеве порушення цілісності окремих ділянок та тканин тіла, і загальні електротравми, так звані електричні удари, коли уражається центральна нервова система або існує загроза ураження всього організму через порушення нормальної діяльності життєво важливих органів і систем, таких як головний мозок, серце, легені.

Місцеві електротравми – чітко окреслені місцеві порушення цілісності окремих ділянок та тканин тіла під впливом електричного струму та/або електричної дуги. Найчастіше – це поверхневі пошкодження, тобто пошкодження шкіри, іноді інших м'яких тканин, а також зв'язок і кісток [33].

До місцевих електротравм відносять:

- електричні опіки;
- електричні знаки;
- металізацію шкіри;
- механічні пошкодження;
- електрофтальмію.

Загальні електричні травми (електричні удари) залежно від наслідків ураження організму людини поділяють на чотири ступені:

I – судомне скорочення м'язів, що супроводжується болями, але без втрати свідомості;

					<i>КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробила</i>		<i>Остапишин С.В.</i>			<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>					<i>57</i>	<i>7</i>
<i>Консульт.</i>		<i>Сенчишин В.С.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІЗ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Е.В.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>						

II – судомне скорочення м'язів із втратою свідомості та/або зупинкою дихання;

III – втрата свідомості і порушення серцевої діяльності;

IV – клінічна смерть.

Електричний удар, навіть якщо він не закінчився смертю, може призвести до значного розладу організму, який виявляється одразу ж після удару або через декілька годин, днів і навіть місяців.

Внаслідок електричного удару можуть виникнути або загостритися серцево-судинні захворювання (аритмія серця, стенокардія, підвищення або пониження артеріального тиску), а також нервові захворювання (невроз), ендокринні порушення. Можливі послаблення пам'яті та уваги. Електричні удари послаблюють стійкість організму до захворювань [33].

Для того щоб звільнити потерпілого від дії електричного струму, необхідно швидко вимкнути ділянку електричної мережі або електрообладнання, до якого дотикається людина. Якщо вимкнення здійснити неможливо, звільнити людину від дії електричного струму можна, відтягнувши її від джерела струму або ж відкинувши дріт від людини (якщо людина торкається дроту). При цьому людині, яка надає допомогу, необхідно дотримуватись правил безпеки, щоб самій не потрапити під дію електричного струму, звертаючи особливу увагу на напругу, під яку потрапив потерпілий.

У разі напруги до 1000 В дріт від людини можна відкинути сухою палкою або дошкою. Можна також перерубати його сокирою. Відтягти потерпілого від джерела струму можна руками, надягнувши діелектричні рукавиці або ж накинувши на них сухий одяг. Краще при цьому стати на дошку, одяг або будь-яку іншу не струмопровідну підстилку [33].

Необхідно врахувати небезпеку крокової напруги, якщо струмоведуча частина лежить на землі. Тому після звільнення потерпілого необхідно винести з цієї зони. Без засобів захисту пересуватися в зоні розтікання струму по землі слід не відриваючи ноги одна від одної.

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Звільнивши потерпілого від дії електричного струму, необхідно якнайшвидше визначити вид і ступінь електротравми і залежно від цього надавати першу долікарську допомогу, а також викликати медичну допомогу або доставити потерпілого до медичного закладу. При цьому можуть спостерігатися опіки різного ступеня, механічні ушкодження (вивихи, розтягування та розривання зв'язок, переломи), зупинка дихання або навіть клінічна смерть. Людину, яка отримала електротравму, не можна залишати без догляду, доки її не огляне лікар, оскільки у неї не виключається розвиток негативних процесів, які можуть призвести навіть до зупинки серця [33].

Працівники, які використовуватимуть систему моніторингу напруги електромережі для виявлення аварійних відключень, повинні дотримуватися правил надання долікарської допомоги при ураженні електричним струмом.

#### 4.2 Вимоги пожежної безпеки при гасінні електроустановок

Пожежа – це неконтрольований процес горіння, який спричиняє нищення матеріальних цінностей та загибель людей. Серед причин виникнення пожеж можна виділити природні явища (посуха, блискавка), порушення правил пожежної безпеки, недбалу поведінку людей з вогнем. Відомо, що лише 7-8 % пожеж спричинені блискавками і близько 90 % виникає внаслідок діяльності людини [34].

Пожежна безпека організацій та підприємств, у яких використовуються електроустановки, забезпечується шляхом здійснення організаційно-технічних та інших заходів з попередження виникнення пожеж, зменшення можливих матеріальних збитків, забезпечення безпеки людей, зниження негативних екологічних наслідків, створення умов для успішного гасіння пожеж та швидкого виклику пожежних підрозділів, а також евакуації з території виникнення та ймовірного розповсюдження пожежі людей, матеріальних цінностей і документів.

Система моніторингу напруги електромережі для виявлення аварійних відключень передбачає використання модуля для вимірювання змінної напруги. Таке електрообладнання при неналежному нагляді, наприклад, при короткому

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

замиканні, може стати епіцентром спалаху. При виникненні пожежі можна виділити два методи, які застосовуються для гасіння електроустановок:

- гасіння електроустановок відведених від напруги мережі;
- гасіння електроустановок, які знаходяться під напругою.

Електроустановки повинні бути під'єднані до заземлення з гнучкого мідного голого провідника з поперечним перерізом не менше 25 мм<sup>2</sup>, який підключається до заземлених конструкцій. Місця підключення до заземлених конструкцій, які визначаються фахівцями енергетичних об'єктів разом з представниками гарнізону пожежної охорони, вносяться до графічної частини плану пожежогасіння та позначаються знаком заземлення [34].

Для забезпечення безпеки пожежників та персоналу, який бере участь у гасінні пожежі електроустановок під напругою, застосовуються ізолюючі індивідуальні електрозахисні засоби (діелектричні килими, калоші, боти, рукавиці). Кількість індивідуальних ізолюючих захисних засобів та заземлень і місця їх зберігання затверджуються керівниками енергетичних об'єктів враховуючи подачу вогнегасних засобів на електроустановки, які перебувають під напругою. Випробування електрозахисного обладнання виконується енергетичним об'єктом в установленому порядку [34].

У разі виникнення пожежі на електроустановці особа, яка першою виявила факт загорання, повинна негайно повідомити відповідальних за пожежну безпеку осіб та керівника для уникнення подальшого загорання. Гасіння електрообладнання під напругою із застосуванням ручних стволів повинне виконуватися за умови [34]:

- застосування ефективних прийомів і способів подачі в зону горіння вогнегасних речовин;
- дотримання електробезпечних відстаней від електрообладнання, яке знаходиться під напругою, до пожежників, які використовують ручні пожежні стволи;
- забезпечення надійного заземлення пожежних автомобілів і стволів;

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– використання індивідуальних ізолюючих електрозахисних засобів під час гасіння пожежі електроустановок без зняття напруги.

В якості вогнегасних речовин під час гасіння електроустановок, які знаходяться під напругою, доцільно застосовувати: розпилені порошкові суміші й інертні гази, струмені води, комбіновану суміш, яка являє собою розпилену воду з порошком. Застосування усіх видів піни під час гасіння електроустановок під напругою за участю людей ручними засобами забороняється, через те що піна й розчин піноутворювача мають підвищену електропровідність в порівнянні з розпиленою водою.

При гасінні пожежі на електроустановках під напругою потрібно застосовувати прийоми та засоби подачі в зону горіння вогнегасних речовин, що забезпечують ефективне гасіння пожежі і безпечну роботу пожежників.

Компактні струмені води доцільно використовувати лише під час гасіння пожеж на електроустановках під напругою до 110 кВ, але лише в тих випадках, коли до осередку горіння не має можливості наблизитися для подачі розпиленої води. В цьому випадку пожежник повинен перебувати на безпечній відстані від найближчих струмоведучих частин електроустановок, до яких може торкнутися струмінь води [34].

Для гасіння пожеж електроустановок, що знаходяться під напругою, можна застосовувати воду з водопровідних мереж, а також із штучних і природних водойм. Забір води насосами пожежних автомобілів з водойм варто здійснювати зі спеціально обладнаних пірсів.

При гасінні пожежі на електроустановках, які перебувають під напругою до 220 кВ включно, тривалість перебування пожежників на бойових позиціях не лімітується. Заземлення ручних пожежних насосів і стволів пожежних автомобілів при гасінні пожеж на електроустановках, які знаходяться під напругою, повинно виконуватись за допомогою гнучких мідних провідників з поперечним перерізом не менше 12 мм<sup>2</sup>, оснащених спеціальними струбцинами для під'єднання до заземлених конструкцій: шурфів, обсадних труб артезіанських свердловин, металевих опор повітряних ліній електропередач, гідрантів водогінних мереж [36].

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Місця під'єднання до заземлених конструкцій повинні затверджуватися спеціалістами енергетичного об'єкта, позначатися відповідними знаками заземлення і вноситись у графічну частину плану пожежогасіння. Ручні пожежні насоси й стволи пожежних автомобілів необхідно заземлювати окремо. В процесі подачі води від внутрішнього водопроводу заземлюються лише стволи.

Індивідуальні електрозахисні ізолюючі засоби (діелектричні боти, рукавиці) потрібно застосовувати для електробезпечності пожежників та персоналу, який безпосередньо бере участь у гасінні пожежі на електроустановках, які знаходяться під напругою.

Автомобілі пожежних частин, що охороняють енергетичні об'єкти, повинні бути укомплектовані індивідуальними ізолюючими захисними засобами відповідно до чисельності бойової обслуги, яка безпосередньо бере участь у процесі гасіння пожежі [35].

Необхідна кількість індивідуальних ізолюючих захисних засобів на енергооб'єктах, у тому числі для пожежних підрозділів, що залучаються до гасіння пожеж з інших частин, затверджується під час розробки планів пожежогасіння.

При пожежі на електроустановках, які знаходяться під напругою, обслуговуючий персонал зобов'язаний у першу чергу повідомити про пожежу начальника зміни (диспетчера, чергового) й пожежну охорону, а потім вжити усіх необхідних заходів відповідно до плану пожежогасіння (картки пожежогасіння).

За необхідності гасіння пожежі повітряно-механічною піною, з об'ємним заповненням приміщення (тунелю) піною виконується попереднє закріплення піногенераторів, їх заземлення, а також заземлення насосів пожежних машин. Водій пожежної машини повинен працювати в діелектричному взутті і рукавицях.

Після прибуття до місця виклику першого пожежного підрозділу старший начальник (заступник начальника частини, начальник варти) повинен швидко зв'язатися з начальником зміни або посадовою особою, яка відповідає за виконання робіт, з метою уточнення ситуації на пожежі, одержання інструктажу та письмового допуску на виконання гасіння пожежі на електроустановках, що перебувають під напругою [35].

					<i>КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						62
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Після узгодження маршрутів руху до осередку горіння та розміщення бойових позицій, із яких пожежники виконуватимуть подачу вогнегасних речовин, керівник групи повинен провести інструктаж всього особового складу, який бере участь у гасінні пожежі, й віддати розпорядження на бойове розгортання.

З метою набуття вольових якостей, удосконалення тактичних навичок, підвищення фахової майстерності і забезпечення психологічної підготовки з врахуванням дотримання правил безпеки праці особовий склад пожежних підрозділів гарнізону зобов'язаний безпосередньо на енергетичному об'єкті не рідше одного разу на рік проходити спеціальний інструктаж.

Працівники, які експлуатуватимуть комп'ютерну систему моніторингу напруги електромережі для виявлення аварійних відключень, повинні дотримуватися вимог пожежної безпеки при гасінні електроустановок.

					<i>КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		63

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було розроблено та досліджено комп'ютерну IoT-систему моніторингу напруги електромережі з функціями виявлення аварійних відключень, дистанційного інформування та керування навантаженням.

У ході роботи проведено аналіз предметної області, визначено основні вимоги до системи та обґрунтовано вибір архітектури й елементної бази, що забезпечило формування ефективного технічного рішення для поставленої задачі.

Розроблено структурну та електричну принципову схеми системи, які відображають взаємодію всіх функціональних вузлів і забезпечують реалізацію вимірювання, обробки, відображення та передавання даних.

Створено алгоритм роботи системи та реалізовано програмне забезпечення для мікроконтролера ESP32, яке забезпечує обчислення параметрів напруги, аналіз аварійних ситуацій, керування реле та взаємодію з зовнішніми сервісами.

Налаштовано інтеграцію з IoT-платформою, що дозволило реалізувати віддалений моніторинг параметрів електромережі та керування станом навантаження в реальному часі.

Реалізовано Telegram-бота для оперативного інформування користувача про аварійні події та забезпечено можливість дистанційного керування системою за допомогою текстових команд.

Проведено моделювання системи та експериментальне тестування фізичного прототипу, результати яких підтвердили коректність роботи алгоритмів, достатню точність вимірювань та надійність функціонування системи в різних режимах.

Отримані результати свідчать про досягнення поставленої мети та підтверджують доцільність використання розробленої системи для підвищення надійності електроживлення та захисту споживачів від аварійних ситуацій.

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Mora D., Taisch M., Colombo A.W. Towards an energy management system of systems: An industrial case study. In IECON 2012-38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, 2012. P. 5811-5816.
2. Hajdini E., Avdiu A., Ibrani M. Digitalization of Building Electrical Systems Towards Energy Efficiency: Planning and Design Insights. In 2024 International Conference on Renewable Energies and Smart Technologies (REST), 2024. P. 1-6.
3. Ahammed M.T., Das C., Oion S.R., Ghosh S., Afroj M. Design and implementation of programmable logic controller based automatic transfer switch. Journal of Artificial Intelligence, Machine Learning and Neural Network, 2022. 2(22). P. 8-18.
4. Pandoh A., Wasekar A.S., Sarkar S., Thakur A.B. Smart Electricity Meter Monitoring and Prediction using iSocket. In 2021 7th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS). 2021. Vol. 1. P. 211-216.
5. Hameed K.L., Barnouti N.H. Electricity monitoring and controlling IoT smart system. In 2019 International Engineering Conference (IEC). 2019. P. 182-187.
6. Khan F., Siddiqui M.A.B., Rehman A.U., Khan J., Asad M.T.S. A., Asad A. IoT based power monitoring system for smart grid applications. In 2020 international conference on engineering and emerging technologies (ICEET). 2020. P. 1-5.
7. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.
8. Лупенко С.А., Пасічник В.В., Тиш Є.В. Комп'ютерна логіка. Навчальний посібник. Львів: Видавництво «Магнолія 2006», 2024. 354 с.
9. Буров Є., Митник М. Комп'ютерні мережі. (у 2-х томах). Львів, Магнолія, 2018. 740 с.
10. Velychko D., Osukhivska H., Palaniza Y., Lutsyk N., Sobaszek Ł. Artificial Intelligence Based Emergency Identification Computer System. Advances in Science and Technology Research Journal. Volume 18, Issue 2, 2024. P. 296–304.

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

11. Tymoshchuk D., Voloshchuk A., Sverstyuk A., Osukhivska H., Bagrij–Zayats Z. Machine Learning–Based Information Technology for Analyzing Energy Peaks in Power Grid Balancing. Proceedings of the 2nd International Workshop on Advanced Applied Information Technologies (AdvAIT 2025). 2025. Vol. 4163.

12. Voloshchuk A., Velychko D., Osukhivska H., Palamar A. Computer system for energy distribution in conditions of electricity shortage using artificial intelligence. CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2024), Ternopil, Ukraine, June 12-14, 2024. Vol. 3742 P. 66-75.

13. Voloshchuk A., Osukhivska H., Khvostivskyi M., Sverstiuk A., Khvostivska L. Component method for analyzing the energy consumption signal as a periodically correlated random process. ITTAP'2025: 5th International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems. Ternopil, Ukraine, 2025. Vol. 4146. P. 128-137.

14. Погребенник В.Д., Клим Г.І., Бордун І.М., Пташник В.В., Паламар А.М. Системи оперативного контролю інтегральних параметрів водного середовища. Т. 2. Елементи комп'ютерних систем оперативного контролю: колективна монографія. Житомир: Видавничий дім «Бук-Друк», 2021. 180 с.

15. Романов Д.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М. Система управління зовнішнім освітленням на основі Інтернету речей. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей X міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів, Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 120.

16. Palamar A., Stadnyk M., Palamar M. Adaptive PID regulation method of uninterruptible power supply battery charge current based on artificial neural network. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 107, No 3. P. 5–13.

17. Palamar M., Yavorska M., Palamar A., Strembitskyi M. Modeling and Research of Satellite Antenna Adjustment Process for Earth Remote Sensing. 2022 IEEE 2nd Ukrainian Microwave Week, Kharkiv, Ukraine, November 14-18, 2022. P. 317-320.

18. Palamar M., Nakonetchnyi Y., Palamar A., Strembitskyi M., Apostol Y. Modernization of the azimuth drive design for the antenna system. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2025. Vol. 117, No 1, P. 54–61.

					<i>КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		66

19. Strembitskyi M., Yavorska M., Palamar A., Kochan R., Yeromenko V. A comparative study of bug algorithms for robot navigation. CEUR Workshop Proceedings, 3rd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2025), Ternopil, Ukraine, June 11-12, 2025. Vol. 4057 P. 312-321.

20. Palamar M., Horyn T., Palamar A., Batuk V. Method of calibration MEMS accelerometer and magnetometer for increasing the accuracy determination angular orientation of satellite antenna reflector. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 108, No 4. P. 79–88.

21. Паламар М., Пастернак Ю., Паламар А. Дослідження динамічних похибок системи прецизійного керування антеною з асинхронним електроприводом. Вісник ТНТУ, Тернопіль: ТНТУ, 2014. Вип. 76, № 4. С. 164–173.

22. Palamar A. Methods and means of increasing the reliability of computerized modular uninterruptible power supply system. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2020. Vol. 99, No 3. P. 133–141.

23. Yatsyshyn V., Pastukh O., Kukharska V., Palamar A., Kulikov S. Method and tool of detecting software architecture patterns in the process of computer systems development. CEUR Workshop Proceedings, 4th International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ИТТАР 2024), Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, October 23-25, 2024. Vol. 3896. P. 12-24.

24. Оконський М.В., Лупенко С.А., Паламар А.М. Інформаційно-вимірювальна система для контролю метеорологічних параметрів на основі Інтернету речей. Матеріали ІХ науково-технічної конференції "Інформаційні моделі, системи та технології" Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 8–9 грудня 2021 року), Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 118.

25. Palamar A., Voloskyi V., Kramar O., Kramar T., Stankevych O., Yatsyshyn V. Information computer system with a virtual tour for cultural heritage preservation of the Zbarazh Castle Museum's exhibition hall. CEUR Workshop Proceedings, The 3rd International Workshop on Social Communication and Information Activity in Digital Humanities (SCIA 2024), Lviv, Ukraine, October 31, 2024. Vol. 3851.

26. Stadnyk M., Palamar A. Project management features in the cybersecurity area. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 106, No 2. P. 54–62.

					КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

27. Palamar A., Karpinskyy M. Control of an Uninterruptible Power Supply in a DC Microgrid System. 10th International Symposium Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology II" (January 10-15, 2011), Pärnu, Estonia, 2011. P. 80-84.

28. Palamar A., Pettai E. Microgrid for the Department of Electrical Drives and Power Electronics. 8th International Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology II" (January 11-16, 2010), Pärnu, Estonia, 2010. P. 54-61.

29. Palamar A., Palamar M. Fire Safety Monitoring System Based on Internet of Things. CEUR Workshop Proceedings, 2023. 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023), Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. Vol. 3468. P. 164-172.

30. Palamar M., Pasternak Y., Palamar A., Poikhalo A. Precision tracking of the trajectory LEO satellite by antenna with induction motors in the control system. Proceedings of the 2017 IEEE 9th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS 2017), Bucharest, Romania, September 21–23, 2017. Vol. 2. P. 1051–1055.

31. Оконський М.В., Лупенко С.А., Паламар А.М. Комп'ютерна система для моніторингу метеорологічних параметрів на основі ІоТ. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей Х міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів, Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 112.

32. Palamar A. Intelligent control and monitoring module for uninterruptible power supply system. II International Scientific and Practical Conference «Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs» (MC&FPGA-2020), Kharkiv, Ukraine. 2020. P. 12-13.

33. Желібо Є.П. Безпека життєдіяльності : підручник / В. В. Зацарний. Київ : Каравела, 2023. 344 с.

34. Яремко З.М. Безпека життєдіяльності : навч. посіб. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Ів. Франка, 2017. 301 с.

35. Гогіташвілі Г.Г., Лапін В.М. Основи охорони праці : навч. посіб. 4-те вид. випр. і доп. Київ : Знання, 2018. 302 с.

					<i>КС КРБ 123.600.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						<i>68</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Додаток А  
Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедру КС

\_\_\_\_\_ Осухівська Г.М.

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2026 р.

КОМП'ЮТЕРНА ІОТ-СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ НАПРУГИ  
ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ АВАРІЙНИХ ВІДКЛЮЧЕНЬ

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на  9  листках

Вид робіт: Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ к.т.н. Осухівська Г.М.

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2026 р.

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Студентка групи СІз-41

\_\_\_\_\_ Остапишин С.В.

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2026 р.

Тернопіль 2026

## 1 Загальні відомості

### 1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи бакалавра: «Комп'ютерна IoT-система моніторингу напруги електромережі для виявлення аварійних відключень».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.600.00.00.

### 1.2 Виконавець

Студентка групи СІз-41, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Остапишин Сніжана Володимирівна.

### 1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи бакалавра є наказ по університету № 4/9-222 від «08» травня 2026 року.

### 1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи бакалавра – 11.05.2026 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи бакалавра – 21.06.2026 р.

## 1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Оформлення технічної документації до кваліфікаційної роботи бакалавра здійснюється згідно діючих вимог вітчизняних та міжнародних стандартів. Технічна документація до кваліфікаційної роботи бакалавра включає в себе текст пояснювальної записки та креслення, які максимально інформативно та стисло відображають основні результати розробки комп'ютерної IoT-системи моніторингу напруги електромережі для виявлення аварійних відключень. Основними регламентними документами при оформленні та пред'явленні результатів проектування є групи діючих стандартів ДСТУ, ISO, ЄСКД та ЕСПД. Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи бакалавра відбувається шляхом захисту роботи на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

## 2 Призначення і цілі створення системи

### 2.1 Призначення системи

Проектована система призначена для автоматичного виявлення факту аварійного відключення електроенергії в контрольованій електромережі та оперативного інформування відповідального користувача за допомогою Telegram-бота. Система має забезпечувати безперервний моніторинг стану електроживлення та фіксацію змін його параметрів.

Основним призначенням є мінімізація часу між виникненням аварійної події та отриманням повідомлення користувачем, що дозволяє оперативно реагувати на позаштатні ситуації.

## 2.2 Мета створення системи

Метою створення системи є підвищення надійності контролю електропостачання об'єктів шляхом впровадження автоматизованого засобу дистанційного моніторингу з використанням IoT-технологій. Результатом має стати функціонально завершений програмно-апаратний комплекс, який:

- забезпечує безперервний контроль наявності напруги;
- автоматично формує повідомлення про аварійне відключення;
- передає інформацію користувачу в режимі реального часу;
- підтримує можливість подальшого розширення функціональності.

## 2.3 Характеристика об'єкту

Об'єктом моніторингу є електрична мережа змінного струму з номінальною напругою 220–230 В частотою 50 Гц. Система може застосовуватись для контролю електроживлення житлових приміщень, серверних кімнат, невеликих виробничих об'єктів, офісних приміщень та інших об'єктів, де критичною є безперервність електропостачання.

Умови експлуатації передбачають встановлення пристрою у закритих приміщеннях із температурним діапазоном, характерним для стандартних побутових або офісних умов, та доступом до мережі Інтернет через Wi-Fi або інший сумісний канал зв'язку.

## 3 Вимоги до системи

### 3.1 Вимоги до системи в цілому

Система повинна являти собою розподілений програмно-апаратний комплекс, що складається з апаратного модуля моніторингу, програмного забезпечення мікроконтролера, засобів мережевої взаємодії, хмарної IoT-платформи та Telegram-бота для інформування користувача.

Система повинна забезпечувати:

- автономну роботу без постійного втручання оператора;
- коректну обробку подій зникнення та відновлення електроживлення;
- збереження працездатності після перезавантаження;
- мінімальний час затримки між виявленням події та відправленням повідомлення.

### 3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Структурно система повинна включати такі основні функціональні модулі:

- модуль контролю напруги мережі;
- обчислювальний модуль (мікроконтролер);
- модуль мережевої взаємодії;
- хмарна IoT платформа;
- програмний модуль Telegram-бота;
- допоміжні вузли живлення та захисту.

Функціонування системи має здійснюватися за принципом циклічного опитування або подієво-орієнтованого контролю стану електроживлення. У разі виявлення відсутності напруги формується відповідний сигнал, який обробляється мікроконтролером та ініціює передачу повідомлення користувачу. При відновленні електроживлення також повинно формуватися окреме повідомлення.

### 3.1.2 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

Внутрішня взаємодія між апаратними компонентами повинна здійснюватися через стандартні інтерфейси мікроконтролера (GPIO, ADC, UART, I2C або SPI – залежно від обраної елементної бази).

Передача даних до користувача має здійснюватися через мережу Інтернет із використанням хмарної IoT платформи. Взаємодія з Telegram-ботом повинна реалізовуватися через офіційний API платформи Telegram.

Канал зв'язку повинен забезпечувати:

- захищену передачу даних;
- повторну спробу відправлення повідомлення у разі тимчасової втрати мережі;
- мінімізацію втрат інформації.

### 3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

Система повинна підтримувати такі режими роботи:

- режим нормального функціонування (наявність електроживлення);
- режим аварійного відключення;
- режим відновлення живлення;
- режим ініціалізації та самотестування після ввімкнення;
- сервісний режим налаштування (за потреби).

У режимі аварійного відключення система повинна забезпечувати збереження можливості передачі повідомлення за рахунок резервного джерела живлення або альтернативного способу підтримки працездатності на обмежений час.

### 3.1.4 Перспективи розвитку та модернізації системи

Архітектура системи повинна передбачати можливість розширення функціональності без суттєвої зміни базової структури. Потенційні напрями модернізації включають:

- додавання вимірювання параметрів напруги (рівень, частота);
- інтеграцію з іншими IoT-платформами;

- реалізацію веб-інтерфейсу для моніторингу;
- підтримку декількох користувачів;
- розширення переліку типів сповіщень.

Програмне забезпечення має бути модульним і структурованим для полегшення внесення змін.

### 3.1.5 Вимоги до надійності системи

Система повинна забезпечувати високу надійність виявлення подій зникнення електроживлення. Ймовірність помилкового спрацювання повинна бути мінімізована шляхом програмної фільтрації короткочасних імпульсних зникнень напруги.

До вимог надійності належать:

- стабільність роботи у тривалому безперервному режимі;
- автоматичне відновлення роботи після перезавантаження;
- захист від перенапруги та короткого замикання;
- контроль цілісності програмного коду.

Показники надійності системи моніторингу напруги електромережі повинні відповідати вимогам ДСТУ 50136-1. Ймовірність безвідмовної роботи системи повинна складати не менше 99,9 %.

### 3.1.6 Вимоги до функцій та задач, які виконує система

Система повинна виконувати такі основні функції:

- безперервний моніторинг наявності напруги;
- фіксація моменту зникнення електроживлення;
- формування повідомлення про аварійне відключення;
- надсилання даних у хмарну IoT платформу;
- передача повідомлення через Telegram-бот;
- фіксація моменту відновлення електроживлення;

- передача повідомлення про відновлення;
- збереження службової інформації (за потреби).

Алгоритм роботи повинен забезпечувати коректну обробку повторних або короткочасних збоїв.

### 3.1.7 Вимоги до апаратного забезпечення

Апаратна частина системи повинна базуватися на сучасному мікроконтролері з підтримкою мережесих функцій (Wi-Fi або іншого інтерфейсу). Елементна база повинна забезпечувати:

- електробезпеку при роботі з мережею 220–230 В;
- гальванічну розв'язку між силовою та низьковольтною частинами;
- компактність конструкції;
- енергоефективність.

Конструкція пристрою повинна відповідати вимогам безпечної експлуатації, передбачати ізоляцію струмопровідних частин та можливість монтажу в стандартному корпусі.

Вимоги до мікроконтролера:

- мікроконтролер має підтримувати RISC архітектуру команд;
- мікроконтролер повинен містити необхідний набір вбудованих периферійних пристроїв (таймери, АЦП і т.п.) та потрібну кількість керованих портів введення /виведення.

## 4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

Комплект конструкторської документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:
  1. структурна схема системи;

2. схема електрична принципова;
3. блок-схема алгоритму роботи;
4. результати моделювання системи.

\*Примітка: В комплект конструкторської документації можуть вноситися зміни та доповнення в процесі розробки.

## 5 Стадії та етапи проєктування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання КРБ

№ етапу	Назва етапу виконання КРБ	Термін виконання
1.	Розробка технічного завдання	11.05 – 14.05
2.	Аналіз технічного завдання, вимог до комп'ютерної системи, та можливих рішень поставленого завдання	15.05 – 19.05
3.	Розроблення структури, вибір апаратного забезпечення, проєктування комп'ютерної системи	20.05 – 25.05
4.	Реалізація алгоритму, написання програмного забезпечення, моделювання комп'ютерної системи	26.05 – 02.06
5.	Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»	03.06 – 05.06
6.	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	06.06 – 08.06
7.	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	09.06 – 10.06
8.	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	11.06.2026
9.	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	18.06.2026

## 6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

Під час виконання кваліфікаційної роботи в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Додаток Б  
Перелік елементів



## Додаток В

### Лістинг програми

Лістинг В.1 – Код програми мікроконтролера ESP32 для реалізації IoT-системи моніторингу напруги електромережі для виявлення аварійних відключень.

```
#include <WiFi.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <ThingyESP32.h>
#include <UniversalTelegramBot.h>
#include <WiFiClientSecure.h>
#include "secret.h"
// ----- Pins -----
#define VOLTAGE_PIN 34
#define RELAY_PIN 25
// ----- Objects -----
ThingyESP32 thing(USERNAME, DEVICE_ID, DEVICE_CREDENTIAL);
WiFiClientSecure client;
UniversalTelegramBot bot(BOT_TOKEN, client);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
// ----- Parameters -----
float voltage = 0;
float voltageRMS = 0;
float VREF = 3.3;
float ADC_RES = 4095.0;
// Калібрувальний коефіцієнт
float calibrationFactor = 311.0;
// Пороги
float VOLTAGE_MIN = 180.0;
float VOLTAGE_MAX = 250.0;
// Стан
bool relayState = true;
bool powerLost = false;
// Таймери
unsigned long lastMeasure = 0;
unsigned long lastSend = 0;
unsigned long lastTelegramCheck = 0;
// ----- Setup -----
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASS);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Connecting WiFi");
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
```

```

    Serial.print(".");
}
lcd.clear();
lcd.print("WiFi Connected");
client.setInsecure();
// Thingier pecyrc
thing["voltage"] >> [](pson &out) {
    out = voltageRMS;
};
thing["relay"] << [](pson &in) {
    relayState = (bool)in;
    digitalWrite(RELAY_PIN, relayState);
};
sendTelegram("Система запущена");
}
// ----- Loop -----
void loop() {
    thing.handle();
    // --- Вимірювання ---
    if (millis() - lastMeasure > 1000) {
        lastMeasure = millis();
        voltageRMS = readVoltageRMS();
        Serial.print("Voltage: ");
        Serial.println(voltageRMS);
        // --- Відображення ---
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("V:");
        lcd.print(voltageRMS);
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(relayState ? "Relay:ON" : "Relay:OFF");
    }
    // --- Аналіз стану ---
    if (voltageRMS < 50) {
        if (!powerLost) {
            powerLost = true;
            sendTelegram("ВІДКЛЮЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ!");
        }
    } else {
        if (powerLost) {
            powerLost = false;
            sendTelegram("Електропостачання ВІДНОВЛЕНО");
        }
        // Перенапруга / занижена
        if (voltageRMS > VOLTAGE_MAX) {
            digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
            relayState = false;
            sendTelegram("ПЕРЕНАПРУГА! Навантаження вимкнено");
        }
        if (voltageRMS < VOLTAGE_MIN) {
            digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
            relayState = false;
            sendTelegram("ЗАНИЖЕНА НАПРУГА! Навантаження вимкнено");
        }
    }
}

```

```

    }
}
// --- Передача на Thinger ---
if (millis() - lastSend > 5000) {
    lastSend = millis();
    thing.stream(thing["voltage"]);
}
// --- Telegram команди ---
if (millis() - lastTelegramCheck > 3000) {
    lastTelegramCheck = millis();
    int numNewMessages =
bot.getUpdates(bot.last_message_received+1);
    while (numNewMessages) {
        for (int i = 0; i < numNewMessages; i++) {
            String text = bot.messages[i].text;
            if (text == "/on") {
                digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
                relayState = true;
                sendTelegram("Реле ВБИМКНЕНО");
            }
            if (text == "/off") {
                digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
                relayState = false;
                sendTelegram("Реле ВИМКНЕНО");
            }
            if (text == "/status") {
                String msg = "Напруга: " + String(voltageRMS) + " V\n";
                msg += relayState ? "Реле: ON" : "Реле: OFF";
                sendTelegram(msg);
            }
        }
        numNewMessages = bot.getUpdates(bot.last_message_received+1);
    }
}
}
// ----- Функція RMS -----
float readVoltageRMS() {
    int samples = 200;
    float sum = 0;
    for (int i = 0; i < samples; i++) {
        int adc = analogRead(VOLTAGE_PIN);
        float v = (adc * VREF) / ADC_RES;
        sum += v * v;
        delayMicroseconds(200);
    }
    float mean = sum / samples;
    float rms = sqrt(mean);
    return rms * calibrationFactor;
}
// ----- Telegram -----
void sendTelegram(String msg) {
    bot.sendMessage(CHAT_ID, msg, "");
}
}

```