

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Система безперебійного електроживлення на основі інтернету
речей»

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології

(код, найменування спеціальності)

освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології

(назва)

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело*

_____ Артем КУХАРЕНКО
(підпис) *Ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача*

Виконав: здобувач вищої освіти гр.ІСД-41

Артем КУХАРЕНКО

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник:

Ольга ЖИДКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Рецензент:

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Київ 2026

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій

Кафедра Інформаційних систем та технологій

Ступінь вищої освіти Бакалавр

Спеціальність 126 Інформаційні системи та технології

Освітньо-професійна програма Інформаційні системи та технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедрою ІСТ

_____ Каміла СТОРЧАК

«_____» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Кухаренку Артему Руслановичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Система безперебійного електроживлення на основі інтернету речей

керівник кваліфікаційної роботи Ольга ЖИДКА, доктор філософії _____,

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій

від «20» лютого 2026 р. №51

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «01» __ червня __ 2026 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: Середовище розробки Arduino IDE; Апаратні компоненти у середовищі Tinkercad; Література з питань побудови систем безперебійного електроживлення

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

1. Аналіз існуючих рішень систем безперебійного електроживлення та можливості застосування IoT

2. Розробка архітектури системи автоматичного перемикання джерел

3. Розробка алгоритму роботи та програмної реалізації

4. Проведення тестування у нормальному та аварійному режимі, оцінка ефективності.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: *презентація*

6. Дата видачі завдання «20» лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	20.02 - 26.02.2026	Виконано
2	Аналіз та архітектура IoT-систем безперебійного електроживлення	10.03 - 06.04.2026	Виконано
3	Проектування моделі автоматичного перемикавання джерел електроживлення	07.04 - 30.04.2026	Виконано
4	Створення структурної схеми	16.04 - 18.04.2026	Виконано
5	Реалізація та дослідження роботи IoT-системи	02.05 - 11.05.2026	Виконано
6	Тестування системи	05.05 - 07.05.2026	Виконано
7	Висновки	08.05.2026	Виконано
8	Оформлення дипломної бакалаврської роботи	09-14.05.2026	Виконано

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Артем КУХАРЕНКО

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник
кваліфікаційної роботи

(підпис)

Ольга ЖИДКА

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня бакалавра: 60 стор., 26 рис., 3 табл., 27 джерел.

Об'єктом дослідження є система безперебійного електроживлення, що інтегрує технології інтернету речей для забезпечення ефективного управління енергетичними ресурсами.

Предметом дослідження є аналіз та створення алгоритму автоматизованого управління перемиканням між джерелами електричної енергії, такими як енергетична мережа, акумуляторні батареї та сонячні панелі, у контексті IoT-системи електроживлення.

Метою роботи є розробка та практична реалізація моделі IoT-орієнтованої системи автоматичного перемикання джерел електроживлення, що забезпечує інтеграцію централізованої електромережі, сонячних панелей та акумуляторних батарей задля підвищення надійності енергопостачання споживачів.

Методами дослідження є теоретичний аналіз джерел з питань побудови систем безперебійного електроживлення та застосування технологій інтернету речей; моделювання та аналіз архітектури системи; програмна реалізація розробленої моделі; тестування в різних режимах роботи.

Короткий зміст роботи: Розглянуто існуючі рішення, визначено їх переваги та недоліки. Розроблено архітектуру IoT-системи та автоматичну модель перемикання між мережею, акумуляторами та сонячними панелями. Реалізовано програмну та апаратну частину системи. Оцінено ефективність рішення.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, БЕЗПЕРЕБІЙНЕ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ, АВТОМАТИЧНЕ ПЕРЕМИКАННЯ, МЕРЕЖА, АКУМУЛЯТОРИ, СОНЯЧНІ ПАНЕЛІ, ЕНЕРГОМОНІТОРИНГ.

ЗМІСТ

Стор.

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТА АРХІТЕКТУРА ІОТ-СИСТЕМ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ	11
1.1 Поняття та принципи інтернету речей	11
1.1.1 Визначення та концепція IoT-системи	12
1.1.2 Рівні архітектури IoT	14
1.1.3 Застосування IoT у системах енергоживлення	16
1.2 Системи безперебійного електроживлення та їх класифікація	18
1.3 Джерела електроживлення в гібридних системах	20
1.4 Існуючі комерційні та відкриті рішення автоматичного перемикання	22
1.4.1 Комерційні системи безперебійного електроживлення	22
1.4.2 Відкриті та саморобні IoT-рішення	25
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ МОДЕЛІ АВТОМАТИЧНОГО ПЕРЕМИКАННЯ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ	28
2.1. Вимоги до розроблюваної системи	28
2.1.1 Функціональні вимоги	28
2.1.2 Нефункціональні вимоги та обмеження.....	30
2.1.3 Вимоги до безпеки та надійності.....	31
2.2 Архітектура IoT-системи	33
2.2.1 Загальна структурна схема системи	34
2.2.2 Взаємодія компонентів системи	38
2.3 Модель автоматичного перемикання джерел живлення	42
2.3.1 Пріоритети використання джерел живлення	42
2.3.2 Умови переходу між режимами роботи	44
2.3.3 Аварійні та критичні режими	46
РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ІОТ-СИСТЕМИ	49
3.1 Реалізація системи.....	49
3.1.1 Реалізація апаратної частини системи.....	49
3.1.2 Реалізація програмної частини системи.....	54
3.2 Тестування системи у різних режимах роботи	57
ВИСНОВКИ	63
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	65
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація)	68

ВСТУП

Актуальність роботи зумовлена зростанням навантаження на енергосистеми та нестабільністю електропостачання, тому питання забезпечення безперебійного електроживлення набуває особливої актуальності. Додатковим викликом для сучасних енергосистем слугує нестабільність постачання електричної енергії, що проявляється у вигляді раптових короточасних відключень, перебоїв та перепадів напруги або її повноцінного зникнення в електромережі. У таких умовах особливо важливим є забезпечення надійного та швидкого живлення від альтернативних джерел. Наявність короточасних включень електромережі, що можуть тривати декілька хвилин, створює додаткові вимоги до алгоритмів керування системою. Для підвищення надійності та автономності енергопостачання у сучасному світі використовуються гібридні джерела електроенергії, такі як акумуляторні батареї та сонячні панелі. Водночас розвиток технології інтернету речей та інтегрування її в енергосистему відкривають можливості для повноцінного керування, віддаленого моніторингу та автоматизації процесів перемикання між джерелами електричного живлення.

Використання технологій інтернету речей в межах даної системи дозволить значно розширити функціональні можливості керування електроживленням. Зокрема, з'являється можливість здійснювати віддалений моніторинг стану компонентів системи та контролювати її роботу у реальному часі. Крім того, користувач може оперативно змінювати режими роботи системи у випадку зміни умов енергопостачання. У разі необхідності система здатна виконувати дані дії автоматично, використовуючи дані, отримані від відповідних спеціальних датчиків та/або вимірювальних модулів.

Станом на зараз існує значна кількість систем безперебійного електроживлення для використання як у промислових, так і у побутових умовах. Частина таких систем може бути реалізована як готове комерційне рішення; інші, своєю чергою, створюються на основі відкритих програмно-апаратних платформ. Кожен із даних підходів має і певні переваги, і певні недоліки - це стосується

вартості, масштабованості, гнучкості налаштування та можливості інтеграції із IoT-платформами. Аналіз подібних рішень дозволяє визначити їх слабкі та сильні сторони, що є важливим етапом при розробці власної моделі автоматичного перемикавання джерел електричного живлення. Окрім цього, аналіз існуючих систем дозволить сформулювати вимоги до нової архітектури системи, визначити оптимальні алгоритми перемикавання та обрати відповідні програмні та апаратні компоненти.

Метою роботи визначено розробку й практичну реалізацію моделі IoT-системи автоматичного перемикавання між мережею, сонячними панелями та акумуляторними батареями для забезпечення безперебійного електроживлення споживачів.

Об'єктом дослідження є система безперебійного електроживлення з використанням технології інтернету речей.

Предметом дослідження є алгоритми та архітектура автоматичного перемикавання джерел живлення в IoT-системі.

У межах дослідження розглядається використання декількох джерел електричної енергії. До таких належать акумуляторні батареї, сонячні панелі та безпосередньо централізована електромережа. Водночас запропонована архітектура системи є універсальною, тому може бути адаптована для роботи із іншими альтернативними джерелами електроенергії, такими як малі гідрогенератори проточної води або вітрогенератори. Завдяки цьому система матиме змогу використовуватись не лише у побутових умовах, а й в автономних енергетичних установках, невеликих комерційних об'єктах або енергосистемах експериментального типу. Даний підхід дозволяє підвищити гнучкість повноцінної системи, а також забезпечити можливість її використання у різних умовах енергопостачання.

Методи дослідження включають в себе аналіз нормативних науково-технічних джерел, пов'язаних із моделлю автоматичного перемикавання джерел живлення, системний аналіз даних, моделювання архітектури системи,

алгоритмічне проектування, експериментальне тестування, а також аналіз отриманих результатів.

Ключові положення даної роботи використовуються при розробці та дослідженні автономних систем електричного живлення із використанням IoT-технологій. Результатами заданого дослідження можуть користуватися у навчальному процесі, а також при створенні енергоефективних систем керування електричним живленням.

Апробація результатів та публікації. Результати дослідження та основні положення пройшли апробацію на:

1. VII Всеукраїнській науково-технічній конференції “Сучасний стан та перспективи розвитку IoT” (Київ, ДУІКТ, 20 квітня 2026 р.). Теза доповіді на тему “Система безперебійного електроживлення на основі інтернету речей” опублікована у збірнику матеріалів конференції (стор. 183).
2. Всеукраїнській науково-технічній конференції “Технології цифрового розвитку: програмні системи та децентралізація” (Київ, ДУІКТ, 1 травня 2026 р.). Теза доповіді на тему “Безпека, надійність та економічна ефективність IoT-систем безперебійного електроживлення” опублікована у збірнику матеріалів конференції.

Теоретичне значення роботи полягає в систематизації підходів до побудови IoT-систем безперебійного електроживлення та формуванні моделі автоматичного перемикавання джерел енергії.

Методичне значення роботи полягає у розробці алгоритму керування та структурної схеми системи, які можуть бути використані у майбутньому як основа для наступних досліджень та розробок у сфері енергомоніторингу.

Практичне значення роботи пов'язане із створенням працездатної моделі IoT-системи автоматичного перемикавання джерел електричного живлення, що може бути впроваджена у побутових або малих комерційних енергосистемах.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТА АРХІТЕКТУРА ІОТ-СИСТЕМ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

1.1 Поняття та принципи інтернету речей

Інтернет речей (Internet of Things, IoT) сьогодні вважається однією з найважливіших технологій цифрової інфраструктури та інформаційних систем. Концепція IoT в першу чергу була спрямована на те, що всі фізичні пристрої - сенсори, вимірювальні прилади, контролери - об'єднуються у єдину мережу, яка здатна працювати без постійного втручання людини. Це дозволяє системі в автоматичному порядку збирати дані, передавати їх на відстані та керувати обладнанням дистанційно у режимі реального часу.

Ключовою складовою системи “інтернету речей” називають опис мережі, яка збирає, обробляє інформацію про навколишнє середовище, і в результаті - виконує чітко визначені дії на основі отриманих даних.

Зараз рішення на основі IoT отримали широку популярність у багатьох галузях. З економічної точки зору, це допомагає знизити витрати завдяки автоматизації певних процесів, що має позитивний вплив на якість виконаної роботи, а також на її швидкість.

У сфері транспорту сенсори допомагають відстежувати рух вантажів, де вони знаходяться, який орієнтовний час прибуття до пункту призначення тощо. У медицині “розумні” пристрої допомагають лікарям дистанційно контролювати стан пацієнтів та миттєво бачити усі зміни.

В сфері енергетики IoT також здобула неабиякої популярності, оскільки може допомогти, наприклад, в оптимізації споживання електроенергії та визначити, чи доцільно використовувати певне електричне джерело в даний момент часу чи на даній місцевості. У відновлювальній енергетиці IoT допомагає оптимізувати використання сонячних та вітрових ресурсів.

Але там, де існують переваги, обов'язково з'являються і проблеми. Сьогодні серйозними бар'єрами для масового впровадження інтернету речей залишається:

1. Висока вартість обладнання побутових та промислових споживачів.

Для підприємств концепція потребує постійних капіталовкладень у сенсори, датчики збору даних, які не завжди швидко окупаються. Це призводить до нерівномірного, часто повільного поширення концепції серед населення.

2. Складність інтеграції зі старими системами.

Багато підприємств працюють на старому обладнанні, що не передбачає підключення до сучасних цифрових мереж. Виникає необхідність у модернізації систем на підприємстві. Це несе за собою збільшення витрат та ризики збоїв.

3. Ризики кіберзагроз, навіть за високого ступеня захисту.

Попри використання нових протоколів захисту, повноцінно вберегти техніку від несанкціонованого доступу неможливо. Це призводить до неправильної роботи обладнання, його повного блокування або витоку даних.

Концепція, попри недоліки, залишається перспективною, але потребує значних інвестицій, постійного розвитку та серйозної уваги до питань безпеки.

Масштабування IoT відкриває нові можливості, але потребує кваліфікованих спеціалістів та інвестицій у безпеку та сумісність обладнання. Лише за умови вирішення цих питань технологія стане масовою й впливатиме як на промислову галузь, так і на повсякденне життя людей.

1.1.1 Визначення та концепція IoT-системи

IoT (Internet of Things) або інтернет речей являє собою набір фізичних об'єктів (так званих «речей»), що пов'язані між собою завдяки спеціальному програмному забезпеченню, вбудованим датчикам та іншим цифровим технологіям. Цей зв'язок використовують для передачі даних на інші пристрої у межах даної системи або всередину інших систем через мережу Інтернет. Простими словами, фізичні пристрої користуються Інтернетом, щоб відправити інформацію або ж прийняти її від інших об'єктів.

Концепція IoT сформувалася наприкінці 1990-х років і з початку XXI століття поступово поширювалася у різні сфери людства [1].

Сучасні системи інтернету речей активно використовують хмарні платформи для збору та аналізу даних. Розвиток машинного навчання в свою чергу покращив властивості цих хмарних платформ. Тепер усі дані збираються та обробляються швидше, що допомагає компаніям ефективніше працювати та розширювати кордони своїх професійних можливостей. На рисунку 1.1 подано основні напрямки, де використовується інтернет речей.

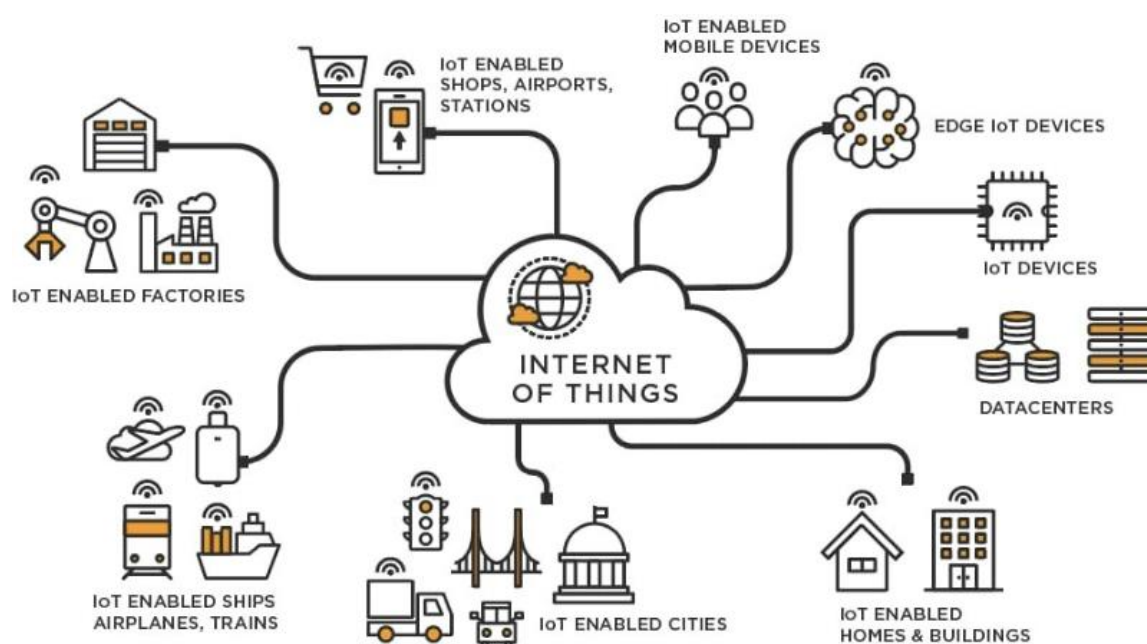


Рис. 1.1 Що таке інтернет речей і де він використовується

Речі, що працюють в концепції IoT, послуговуються алгоритмами машинного навчання в першу чергу для аналізу даних, що надходять від сенсорів та датчиків. Отримати інформацію можна миттєво завдяки сповіщенням або інформаційним панелям. Саме ці переваги зумовлюють високий попит на технологію інтернету речей у різноманітних сферах, зокрема:

- Промисловість - контроль стану обладнання, температури.
- Логістика - відстеження вантажів та умов транспортування.
- ЖКГ - розумні лічильники води, електроенергії та газу.
- Безпека - датчики руху, розумні сигналізації, системи контролю доступу.

- Розумні будинки - опалення, освітленість, кондиціонування приміщень.
- Охорона здоров'я - розумні браслети, медичні сенсори.

Різноманітність застосувань робить IoT ключовою технологією XXI століття. Зростання кількості пристроїв підвищує конкурентоспроможність компаній та допомагає їм ефективніше працювати.

1.1.2 Рівні архітектури IoT

Архітектурою концепції IoT називають багаторівневу структуру, що забезпечує пристроям, підключеним до мережі Інтернет, взаємозв'язок з іншими “речами”. Вона включає в себе від 3 до 7 рівнів функціональних компонентів або так званих «шарів» (англійською - layers).

В межах даної роботи буде розглянуто чотирирівневу архітектуру IoT (рис. 1.2), яка складається із наступних шарів:

1. Рівень сприйняття (Perception layer) - “речі”, що перетворюють фізичні дані із навколишнього середовища у цифрові, тобто датчики, сенсори тощо.
2. Транспортний рівень (Transport layer) являє собою протоколи та канали передачі даних від сенсорів рівня сприйняття до спеціальних систем обробки. До таких належать Wi-Fi, Bluetooth, маршрутизатори, ZigBee тощо.
3. Рівень обробки (Processing layer) - пристрої для аналізу, обробки та перетворення інформації, отриманої від датчиків, наприклад, хмарні платформи, дата-центри або аналітичні модулі.
4. Прикладний рівень (Application layer) - кінцеві сервіси, де користувачі бачать результат роботи, наприклад, в концепції “Розумного будинку” [2].

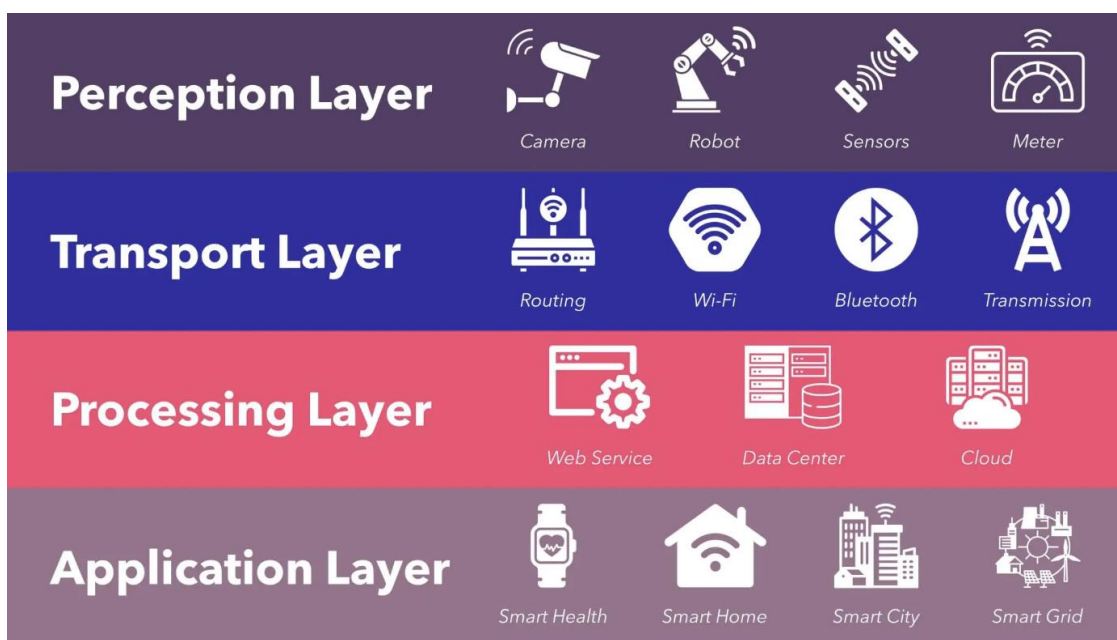


Рис. 1.2 Рівні архітектури IoT

Рівень сприйняття є найнижчим рівнем архітектури. Він складається із сенсорів та виконавчих механізмів, які займаються збором параметрів [3].

Наступним рівнем архітектури інтернету речей є транспортний. Він відповідає за передачу цифрових даних від пристроїв першого рівня до об'єктів обробки. Важливо зазначити, що різні IoT-девайси працюватимуть по-різному:

- одні надсилають дані у хмарні сервіси напряму (cloud);
- інші попередню обробку роблять локально (edge computing);
- треті ж передають всю інформацію на проміжні хаби - централізовані точки збору та маршрутизації.

До транспортного рівня належить велика кількість мережевих технологій та протоколів (провідних (Ethernet) та безпроводних (LoRaWAN, Wi-Fi)). Допускається і використання гібридних рішень (наприклад, VVDN Technologies у промислових IoT-системах інтегрувала провідні та безпроводні елементи [4]).

Прикладом другого рівня архітектури є модуль ESP8266, який забезпечує бездротову передачу даних від сенсорів рівня сприйняття напряму на мобільні застосунки або хмарні платформи [5].

У чотирирівневій архітектурі IoT третім шаром визначають рівень обробки. Він використовує серверні системи та хмарні платформи для зберігання, обробки та передачі даних на прикладний рівень у 3 етапи.

Першим етапом є накопичення даних. Структуровані дані зберігаються у сховищі, а неструктуровані (зображення, аудіо, відео) - в так званих “озерах даних”, де немає строгого порядку та структури. В озерах зберігати об’ємну інформацію зручніше, адже вона стає більш гнучкою та зручною у налаштуванні [6].

Другий крок - абстракція даних. На цьому етапі інформація об’єднується із різних джерел у спільний формат, доступний для прикладного ПЗ.

Останнім етапом дані аналізуються шляхом використання алгоритмів машинного навчання.

Останнім шаром архітектури, що розглядається, є прикладний. На цьому рівні зведена інформація перетворюється на зрозумілий для людини формат. Це можуть бути таблиці, графіки, діаграми тощо [7].

У науковій літературі можуть зустрічатися інші варіанти архітектур IoT - від трирівневих до семирівневих. Але принцип роботи зберігається ідентичним - збір даних, їх транспорт, обробка та видача у строгому, зручному вигляді.

1.1.3 Застосування IoT у системах енергоживлення

Зростання кількості пристроїв та користувачів Інтернету призводить до високого споживання електроенергії, збільшуючи ризик її дефіциту. Тому у XXI столітті почали активно створювати та використовувати новітні рішення. Одним із таких і є інтернет речей. На відміну від класичних джерел резервного живлення, IoT забезпечує комплексний моніторинг ключових параметрів пристроїв. Але навіть попри це потенціал IoT у сфері енергетики використовується лише частково.

У сучасних дослідженнях Springer Nature - популярної академічної компанії, зазначається, що консолідація технології IoT у питанні енергоефективності зміцнює формування адаптивних моделей управління. Це допомагає максимально

раціонально розподіляти навантаження та поєднувати джерела безперебійного живлення у масштабовані енергетичні платформи [8].

У 2007 році німецька корпорація промислової автоматизації Schneider Electric розпочала інтеграцію систем безперебійного електроживлення у єдину цифрову екосистему. Наразі існує популярна лінійка таких джерел (наприклад, Smart-UPS (рис. 1.3)). Введення таких рішень на основі інтернету речей забезпечило покращення загальної енергоефективності на 25-30% та суттєво скоротило фінансові витрати [9].



Рис. 1.3 ДБЖ Smart-UPS компанії Schneider Electric

ІоТ в галузі енергоефективних технологій використовує ще одна популярна система - ABB Ability SmartTracker. Вона забезпечує аналітику роботи джерел живлення та їх віддалений моніторинг, що допомагає оперативно виявляти мінімальні відхилення. Система змогла не лише оптимізувати витрати на обслуговування, а й покращити якість своїх послуг саме завдяки інтернету речей [10].

Дані приклади підкреслюють, що інтеграція ІоТ у сферу енергетики є популярним та перспективним трендом, який зменшує фінансові витрати та покращує роботу системи.

1.2 Системи безперебійного електроживлення та їх класифікація

Джерела безперебійного енергоживлення (Uninterruptible Power Supply, UPS) відіграють одну з найважливіших ролей у сучасних електричних системах. Саме вони стабілізують роботу пристроїв у випадку перебоїв в основній мережі. Ключовим призначенням даних джерел є надання електрики важливим пристроям протягом такого часу, якого буде достатньо для правильного завершення усіх процесів або переходу на резервні джерела живлення.

Якщо енергомережа працює штатно, ДБЖ (джерело безперебійного живлення) працює в режимі очікування, а напруга на навантаження подається транзитно. У цей час відбувається заряджання акумуляторів, що знаходяться всередині джерела. Щойно трапляється збій, за короткий інтервал часу відбувається перемикання навантаження на запасне джерело. Відповідно, чим більшою є ємність акумулятора, тим довше він зможе виступати в ролі резервного джерела електрики.

До складу ДБЖ належать наступні компоненти:

- стабілізатор напруги, на випадок її коливання в мережі;
- акумуляторні батареї для накопичення енергії та її подачі у разі аварії;
- інвертор, який перетворює постійний струм акумулятора у змінний для підключених пристроїв;
- випрямляч, який перетворює струм навпаки, із змінного у постійний для заряджання акумулятора.

Серед основних типів джерел безперебійного живлення наразі виділяють:

1. Резервні (Offline, Standby)

Резервні ДБЖ, або офлайн-джерела, серед усіх є найдешевшими і найпростішими у використанні. На фоні інших даних тип є також найменш потужним. Їхня ключова задача - захист об'єктів від стрибків напруги та підтримка живлення за відсутності в мережі. У разі аварії електрика подається завдяки інвертору та вбудованим акумуляторам. Джерела такого типу найчастіше використовують у приладах із імпульсним блоком живлення (роутери, телевізори,

комп'ютери тощо). Такі ДБЖ не можна використовувати на об'єктах, чутливих до форми напруги (холодильники, котли), адже вихід резервних джерел представлений апроксимованою синусоїдою.

2. Онлайн-системи подвійного перетворення (Online Double Conversion)

Серед усіх варіантів є найнадійнішим пристроєм. У таких джерелах електроенергія перетворюється двічі: змінний переходить у постійний, а потім інвертор переводить назад у змінний з еталонними параметрами електроенергії. За відсутності напруги перемикається на живлення від акумулятора. Встановлена система Bypass робить можливим живлення навантаження навіть за зламаного будь-якого вузла UPS. Передбачено підключення зовнішніх акумуляторних батарей для збільшення тривалості роботи. Наразі усі потужні ДБЖ будуються саме за цією технологією, а головним її недоліком залишається висока ціна.

3. Лінійно-інтерактивні (Line-Interactive)

Дані ДБЖ схожі на резервні, але із вбудованим всередину стабілізатором напруги. Вони мають більший діапазон входної напруги, а отже, менш чутливі до неї, перемикаються на резерв, як правило, рідше. Залежно від встановленого інвертора такі ДБЖ бувають або із чистою, або із апроксимованою синусоїдою [11].

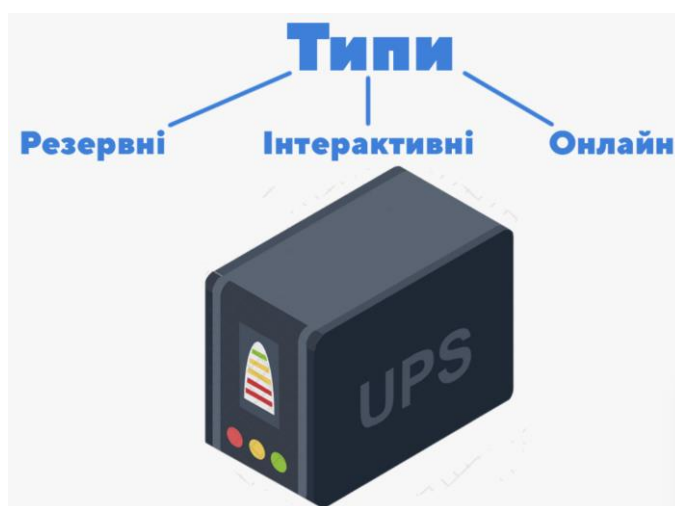


Рис. 1.4 Класифікація джерел безперебійного живлення за принципом роботи

Для правильного вибору типу ДБЖ треба визначити в першу чергу навантаження, з яким працюватиме джерело, а також якість і параметри мережі.

Використання джерел безперебійного живлення допомагає у постійному та якісному енергопостачанні. Інвестування в ДБЖ знижує ризики втрати даних, підвищує продуктивність підприємства та захищає об'єкти від нестабільних параметрів напруги.

1.3 Джерела електроживлення в гібридних системах

В основі роботи гібридних систем лежить поєднання різних джерел живлення (основних та резервних). Ключовими перевагами даних мереж називають екологічність, надійність та економічність.

Використання гібридних систем дозволяє значно знизити негативний екологічний вплив на планету, оскільки основними технологіями є (рис. 1.5):

- сонячні панелі - перетворення сонячної енергії в електричну;
- акумулятори - збереження надлишкової енергії та її використання, коли неактивні джерела природи;
- генератори - додаткове джерело енергії, коли природної генерації замало.

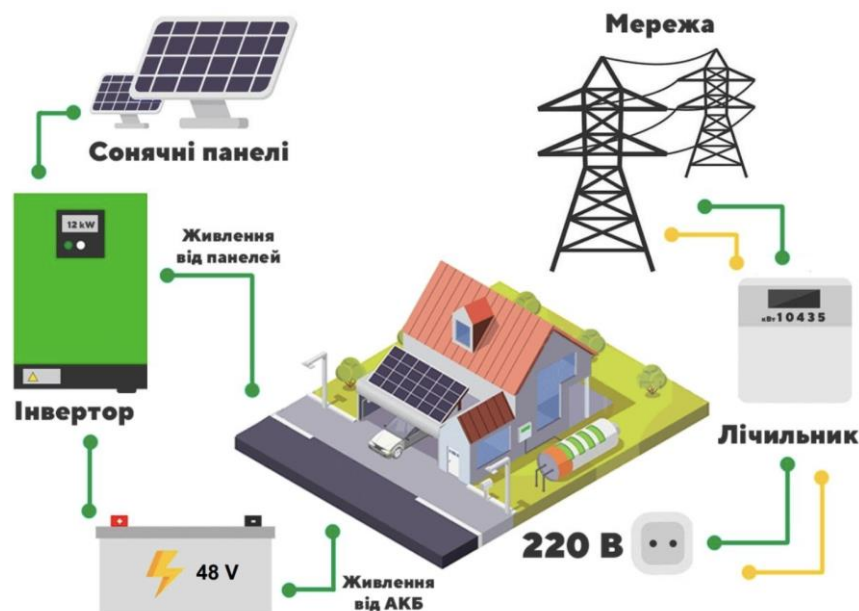


Рис. 1.5 Структура гібридної системи електроживлення

Найголовнішими джерелами альтернативної енергії у гібридних системах виступають сонячна та вітрова енергія. Саме ці ресурси надають чисту енергію, що виступає одним із ключових джерел електрики.

На вибір джерела енергії впливають і недоліки. Основними серед них є:

- залежність від погоди - від активності сонця та напрямку вітру напряму залежить кількість струму, що виробляється;
- висока початкова вартість - без інвестицій на стартових етапах мережа буде розвиватись повільно та не надасть необхідного результату;
- постійне обслуговування - особливо це стосується генераторів та йому подібних компонентів;
- обмежений ресурс - не всі джерела відновлювальні, наприклад, гідроенергія географічно обмежена, тому доступна не для всіх регіонів.

Наразі гібридні системи активно використовуються, в тому числі в Україні. У багатьох приватних будинках стають популярними геотермальні насоси та власні сонячні панелі на даху. Враховуючи нестабільне енерго- та водопостачання, такий підхід значно підвищує автономність будинку, значно покращуючи якість людського життя.

У промислових установах комбіновані технології користуються популярністю, наприклад, в аграрному секторі. Там сонячні панелі із біогазовими установками закривають проблеми із теплом та електрикою навіть у випадках аварійних ситуацій [12].

Нижче подано приклади інтеграції гібридних систем, що використовуються населенням у різних галузях.

1. Телекомунікації - живлення веж альтернативними джерелами на віддалених територіях, надання безперебійного обслуговування без екологічної шкоди природі.
2. Гірничодобувна промисловість - гібридні системи для буріння, освітлення та обробки, тим самим зводячи до мінімуму витрати на паливо та негативний вплив на довкілля.

3. Автономні громади - сонячно-вітряні системи, що нівелюють доставку палива у певні регіони, знижують витрати на транспорт та покращують якість енергопостачання.
4. Критична інфраструктура - використання резервних джерел на випадок стихійних лих, що забезпечує безпеку центрів реагування та лікарень за будь-яких обставин [13].

Поєднання в гібридних мережах як альтернативних, так і традиційних джерел електрики забезпечує її екологічність, надійність та економічність. У поєднанні із інтелектуальними системами управління та моніторингу дана система є перспективним напрямком у розвитку галузі електрики. Вона допомагає як комерційному, так і приватному сектору збільшувати свою автономність, навіть у випадку надзвичайних ситуацій.

1.4 Існуючі комерційні та відкриті рішення автоматичного перемикавання

Наразі важливим завданням залишається подача користувачам безперервного електроживлення. У цьому допомагає автоматичне перемикавання між різними джерелами енергії. Зараз для таких технологій уже існують як комерційні мережі безперебійного живлення, так і саморобні IoT-системи. Аналіз кожної такої мережі допомагає з'ясувати її позитивні та негативні аспекти і, головне, сформулювати ключові вимоги для проектування та розробки кожної моделі.

1.4.1 Комерційні системи безперебійного електроживлення

Сьогодні на ринку можна знайти чимало різноманітних комерційних систем безперебійного енергоживлення. Частіше за все їх використовують у критичній інфраструктурі, сферах бізнесу та промисловості.

Серед ключових провідників таких мереж варто виділити Schneider Electric, ABB та Eaton.

Корпорація Schneider Electric створила широкий спектр рішень безперебійного електроживлення, серед яких Galaxy VX та Smart-UPS. Ці технології інтегровані із хмарним моніторингом та IoT-платформами, що дозволяє оптимізувати енергоспоживання. Такі мережі популярні і в малому бізнесі, і у великих компаніях.

ABB (Asea Brown Boveri) - це шведсько-швейцарська компанія, що в першу чергу спеціалізується на створенні пристроїв енергетичного машинобудування та електротехніки. Їхні модульні UPS-системи (серед яких Conceptpower DPA, DPA 250 S4 тощо) можуть відзначитись високою масштабованістю та енергоефективністю. Частіше всього вони використовуються у критичній інфраструктурі та дата-центрах. Це значно підвищує надійність та інтеграцію із системами віддаленого моніторингу [14].

Американська машинобудівна корпорація Eaton також пропонує для промислових та комерційних підприємств свої UPS-системи, до яких відносять моделі 5PX Gen2, 9PX та 93PM. Дані мережі здатні надавати резервне живлення від 700 до 22000 ВА. До того ж вони підтримують прогнозне обслуговування (тобто здатні виявити порушення та повідомити про них до настання критичної ситуації) та мають розширені можливості підключення як одного, так і декількох пристроїв одночасно [15].

Окремо від відомих корпорацій слід зазначити сучасні IoT-орієнтовані мережі, до яких належать KEMET IntelliSolo Series, PoEWit Cloud UPS та Power Inspired IoT UPS. Такі мережі особливо популярні для інфраструктури інтернету речей та розумного будинку, адже вони здатні не лише автоматично перемикаати джерела електричного живлення, а й підтримують технології хмарного моніторингу [16].

Для систематизації наведених прикладів нижче подано порівняльну характеристику (табл. 1.1) комерційних систем безперебійного електричного живлення.

Таблиця 1.1

Порівняння комерційних систем безперебійного електроживлення

Система / Виробник системи	Рішення / Основні моделі	Особливості системи	Сфера застосування
ABB (Asea Brown Boveri)	Conceptpower DPA, DPA 250 S4	Інтеграція із моніторингом, енергоефективність, масштабованість	Критична інфраструктура, дата-центри
Schneider Electric (APC)	Galaxy VX, Smart- UPS	Хмарний моніторинг, оптимізація енергоспоживання, IoT-інтеграція	Промислові підприємства, бізнес
Eaton	5PX Gen2, 9PX, 93PM	Прогнозне обслуговування	Промислові та комерційні підприємства
Power-Inspired IoT UPS	IoT-UPS	Віддалене керування, хмарний моніторинг	IoT-системи, малий бізнес
KEMET IntelliSolo Series	IoT-UPS	Моніторинг у реальному часі, хмарне обслуговування	Промислові IoT- рішення
PoEWit Cloud UPS	Cloud UPS	Автоматичне перемикання, керування пристроями IoT	IoT- інфраструктура, розумний будинок

Отже, перед тим, як обрати для себе UPS-систему, потрібно чітко встановити наступні пункти:

- які вимоги до надійності системи;
- чи потрібна інтеграція із інтелектуальними технологіями;
- степінь масштабованості об'єкта.

1.4.2 Відкриті та саморобні IoT-рішення

На ринку, окрім комерційних систем, існують також саморобні та відкриті мережі. Їхня головна особливість - базування на платформах із відкритим кодом. Завдяки цьому користувач має змогу самостійно створити та налаштувати будь-які системи управління, резервного живлення, моніторингу тощо. Подібні рішення значно дешевші, ніж комерційні, але не завжди мають відповідну сертифікацію, а також потребують спеціальних технічних знань. Частіше за все вони зустрічаються в технологіях розумного будинку, а також у навчальних проектах.

Серед саморобних IoT-рішень наразі найбільш популярними виділяють такі:

- Arduino - мікроконтролери із відкритим кодом, за допомогою яких створюють базові системи моніторингу та автоматизації [17];
- Raspberry Pi - малий комп'ютер, що подібний до попереднього, але здатний виконувати більш складні завдання (серверні застосування, наприклад);
- ESP32/ESP8266 - прості WiFi-модулі, що надають бездротове підключення для пристроїв інтернету речей;
- Home Assistant - платформа, створена для управління розумним будинком, що інтегрується з великою кількістю "речей".

На рисунку 1.6 наведено приклад плати Arduino UNO Q.



Рис. 1.6 Плата Arduino UNO Q як приклад відкритої IoT-платформи

Для систематизації наведених вище прикладів подано порівняльну таблицю (табл. 1.2) відкритих та саморобних IoT-рішень.

Таблиця 1.2

Порівняння саморобних та відкритих IoT-систем

Платформа / рішення	Ключові можливості	Особливості роботи	Сфера застосування
Arduino	Мікроконтролери для автоматизації та датчиків	Відкритий код, широка спільнота користувачів, простота використання	Базові IoT-пристрої, навчальні проекти
Raspberry Pi	Міні-комп'ютер для складених систем	Підтримка ОС Linux, серверні функції, широка інтеграція із датчиками	Моніторинг енергоспоживання, Розумний будинок
ESP32 / ESP8266	WiFi-модулі для інтернету речей	Енергоефективність, низька ціна, бездротове підключення	Сенсори, розумний будинок, моніторинг інтернету речей
Home Assistant	Відкрита платформа для управління розумним будинком	Хмарний моніторинг, інтеграція із великою кількістю побутових приладів	Автоматизація побутових процесів в технології "розумний будинок"
OpenHAB	Відкрита IoT-платформа	Підтримка великої кількості протоколів, гнучкість використання	Розумний будинок, інфраструктура IoT

Дане порівняння вказує на те, що саморобні системи є більш доступною та гнучкою альтернативою описаним раніше комерційним системам. Вони допомагають самостійно визначати методи проектування та реалізації тих чи інших програм. Це потребує знань у відповідній технічній галузі, проте даний варіант є простішим та зручнішим для користувачів за рахунок численної кількості вбудованих бібліотек і великої активної спільноти.

Вибір між поданими рішеннями (комерційними та саморобними) залежить від таких критеріїв, як фінансова складова, необхідність у сертифікації та гнучкість, а також об'єм та складність роботи.

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ МОДЕЛІ АВТОМАТИЧНОГО ПЕРЕМИКАННЯ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

2.1. Вимоги до розроблюваної системи

У першому розділі проведено детальний теоретичний аналіз архітектури, а також саморобних та комерційних рішень. Надалі формується перелік чітких вимог для майбутньої IoT-системи автоматичного перемикання між джерелами електроживлення.

Будуть описані функціональні, нефункціональні та безпекові вимоги, загальна архітектура та взаємодія компонентів, а також умови роботи цієї мережі у різних ситуаціях.

2.1.1 Функціональні вимоги

Основні можливості та процеси роботи будь-якої системи визначають її функціональні вимоги. Вони формуються в першу чергу на основі аналізу існуючих відкритих та комерційних рішень, враховують потреби у надійності та інтеграції із іншими інформаційними технологіями. Ключовими такими вимогами у заданій системі є:

1. Моніторинг основних параметрів роботи джерел електроенергії.

Параметр перевіряє ключові характеристики струму в реальному часі. Це стосується сили струму, його напруги, рівня заряду акумулятора, інтенсивності генерації сонця тощо.

2. Автоматичне перемикання джерел.

Дана функція повинна якомога швидше здійснити зміну джерела енергії з основного на альтернативне, залежно від стабільності напруги та доступності додаткових джерел (наприклад, сонячних панелей, акумуляторних батарей або генераторів).

3. Створення та надсилання повідомлень.

Система на основі аналізу параметрів у аварійних або критичних режимах роботи у той же момент формує користувачеві термінові повідомлення. Вони можуть надсилатися або через веб-інтерфейс або напряму у мобільний застосунок на локальний пристрій.

4. Інтеграція із IoT-платформами.

Задля автоматизації процесів та віддаленого спрощеного керування пристроями у приміщенні система пов'язується із спеціальними програмами та мережами. До таких належать, наприклад, Node-RED, OpenHAB або Home Assistant.

5. Збереження даних та їх подальший аналіз.

Це допомагає оцінити роботу усіх режимів системи. Як наслідок, прогнозується навантаження та визначається ефективність роботи.

6. Можливість втручання людини у процес.

На випадок нестандартних обставин передбачена функція передачі управління системою людині. Вона може самостійно переключити джерела живлення, якщо виникає загроза аварійної ситуації.

7. Налаштування пріоритетів використання джерел.

Система програмується таким чином, що, наприклад, сонячна енергія матиме перевагу у денний час доби за ясної погоди, тоді як акумулятори будуть задіяні у нічний або за хмарної погоди.

8. Введення прогнозних алгоритмів.

Мова йде про базові алгоритми прогнозного обслуговування. Вони допомагають користувачам на ранніх етапах виявити потенційні несправності на будь-яких ланках системи. Це потрібно для того, щоб уникнути аварій, травмування та нещасних випадків під час користування цією мережею.

Подані у списку функціональні вимоги повністю відповідають сучасним підходам до побудови IoT-системи автоматичного перемикавання джерел електроживлення [18].

2.1.2 Нефункціональні вимоги та обмеження

До нефункціональних вимог будь-якої інформаційної системи відносять якісні характеристики, як саме система виконує свої функції. Тобто, властивості, що забезпечують її безпеку, стабільність та відповідність користувацьким очікуванням. Конкретних функцій вони не описують (на відміну від функціональних), але визначають критерії, за якими далі оцінюють якість її роботи.

Основними такими вимогами у заданій системі є:

1. Продуктивність.

Подана енергетична система має забезпечити якомога менший час (не більше двох секунд) між перемиканням джерел живлення із основного на альтернативне, а також надати швидку відповідь на усі вимоги зовнішнього користувача.

2. Масштабованість.

Без суттєвих змін у програмному коді система повинна бути готова до інтеграції додаткових сенсорів, датчиків або споживачів/джерел живлення і, попри це, продовжити звичайну роботу.

3. Надійність.

Енергетична система має надати стабільну роботу протягом тривалого проміжку часу. Додатково, із мінімальними ризиками втрати будь-яких даних або відмови функціонування обладнання.

4. Сумісність.

Подане рішення має бути сумісне із популярними IoT-платформами для більш зручного користування, а також підтримувати стандартні протоколи для цього (HTTP, CoAP, MQTT).

5. Енергоефективність.

Усі апаратні компоненти, що використовуються в межах даної системи, мають мінімально споживати електроенергію. Особливо це стосується режиму очікування.

6. Безпека.

Має бути передбачено повноцінний захист даних від несанкціонованого доступу, введено аутентифікацію користувачів, а також шифрування усіх каналів зв'язку.

7. Обмеження.

Дана система сильно залежить від якості використовуваних приладів та від інтернет-з'єднання. На випадок відсутності мережі можливості мають бути обмежені, але не нівельовані повністю.

Описані нефункціональні вимоги показують атрибути якості системи. Вони вказують на те, як саме система має працювати, щоб максимально задовольнити потреби своїх користувачів [19].

2.1.3 Вимоги до безпеки та надійності

Вирішальними характеристиками будь-якої системи є надійність та безпека. Саме вони визначають в першу чергу, чи буде інформація захищена від зовнішнього впливу та як довго система зможе працювати у випадку непередбачуваних обставин. Даний підпункт зосереджений конкретно на аспектах захисту та ступені надійності інформації.

Найважливішими деталями вибору будь-якої інформаційної системи безпекового характеру є:

1. Фізична безпека обладнання.

Пристрої забезпечені превентивним захистом від перегріву, перевантаження та короткого замикання, що неминуче може призвести до виходу з ладу та пожежі як окремих компонентів, так і системи в цілому.

2. Кібербезпека.

Обов'язкове використання сучасних методів шифрування даних, аутентифікація користувачів, а також захист від несанкціонованого доступу. Без цього уся інформація, що міститься в системі, може бути втрачена або викрадена сторонніми особами.

3. Відмовостійкість.

Будь-яка технічна складова може вийти з ладу. На протидію такій ситуації архітектура повинна передбачати резервні компоненти та додаткові алгоритми роботи, щоб працездатність, навіть за відмови певного обладнання, не була порушена [20].

4. Стійкість до зовнішніх факторів.

Існує загроза виникнення несприятливих умов зовнішнього середовища, перебоїв мережі або коливань напруги. Повинні бути налагоджені альтернативні шляхи, що за короткий проміжок часу повернуть систему до нормального функціонування.

5. Надійність у довгостроковій перспективі.

В системі має бути передбачено проведення регулярних тестувань для своєчасного проведення технічного обслуговування.

6. Захист користувача.

Під час експлуатації системи у разі виникнення критичних ситуацій вона має якомога швидше відключитися. В першу чергу це необхідно для забезпечення фізичного захисту користувача від травмування, опіків, ударів електричним струмом тощо.

Структуру усіх вимог до безпеки та захисту для наочності наведено у вигляді блок-діаграми (рис. 2.1).



Рис. 2.1 Блок-діаграма вимог до безпеки та надійності системи

Уся подальша ефективність та практичність роботи енергетичної системи базуються в першу чергу саме на таких аспектах. Їх сукупність гарантує не лише стабільну та безперебійну роботу, а й підвищує рівень довіри користувачів до цієї системи.

2.2 Архітектура IoT-системи

Для проектування системи ключовим етапом є опис архітектури. Архітектура визначає її загальну структуру, компоненти, з яких система складається, та способи їхньої взаємодії. Саме від архітектурних рішень буде залежати, чи можлива реалізація функціональних та нефункціональних вимог, описаних вище, чи ні.

У даному пункті розглянуто загальну структурну схему системи та принципи взаємозв'язку між її компонентами. Ці аспекти допомагають сформувати повноцінне уявлення про роботу мережі, як саме вона автоматично перемикає джерела живлення та у який спосіб інтегрується із іншими платформами інтернету речей.

2.2.1 Загальна структурна схема системи

Однією з фундаментальних описових схем систем називають структурну схему. На загальній структурній схемі мереж відображаються їхні основні функціональні блоки та те, як вони взаємодіють між собою під час роботи. Саме структурна схема дозволяє зрозуміти логіку функціоналу IoT-системи, виділити ключові прилади, які використовуються, та канали зв'язку для обміну та передачі даних.

На рисунку 2.2 подано архітектуру гібридної системи енергетичного живлення із можливістю віддаленого керування через Інтернет та моніторингу за параметрами.

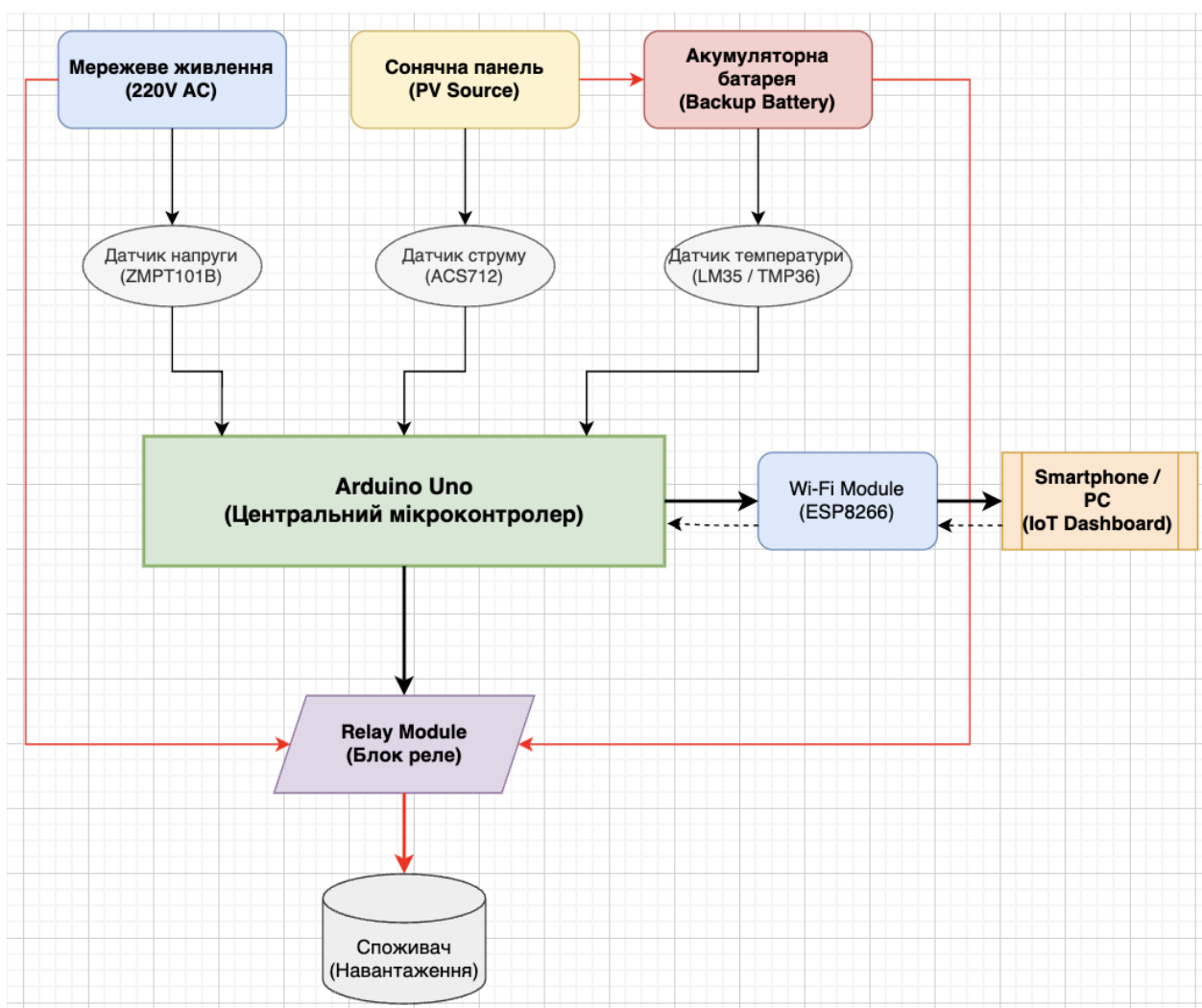


Рис. 2.2 Загальна структурна схема IoT-системи гібридного електроживлення

1. Джерела живлення.

Подана гібридна система може отримувати електричну енергію із трьох джерел:

- мережевого живлення (220 В);
- сонячної панелі;
- акумуляторної батареї.

Подібне рішення забезпечує гібридний режим роботи у вигляді резервних джерел, що запускаються на випадок неробочого основного джерела.

2. Сенсори.

Щоб визначити параметри електричної мережі, користуються такими трьома сенсорами:

- датчик напруги ZMPT101B, що призначений для контролю рівня напруги у мережевому живленні (рис. 2.3);

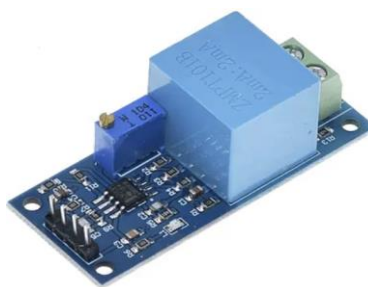


Рис. 2.3 Датчик напруги ZMPT101B

- датчик електричного струму ACS712 для вимірювання сили струму, що виробляє сонячна панель (рис. 2.4);



Рис. 2.4 Датчик струму ACS712

4. Блок реле.

Даний блок використовується для фізичного перемикання джерел. Він отримує сигнали керування від мікроконтролера Arduino, після чого підключає до навантаження відповідне енергетичне джерело.

У межах даної системи було використано 4-канальний релейний модуль із оптопарною розв'язкою (рис. 2.7). Вибір зумовлено тим, що кожне із джерел живлення потребує власного каналу для комутації. Оптопарна розв'язка забезпечить електробезпеку шляхом ізоляції низьковольтних пристроїв від високовольтної мережі [21].

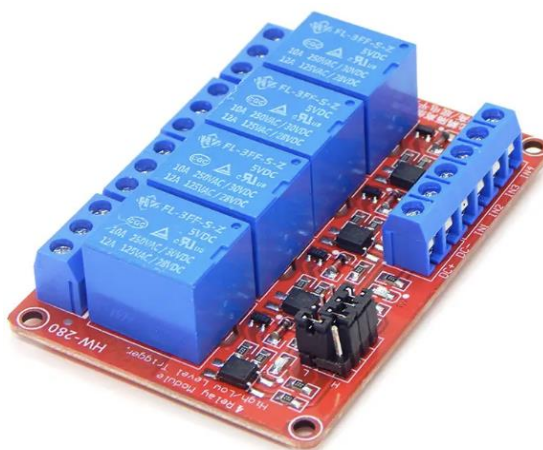


Рис. 2.7 Чотириканальний релейний модуль HW - 280

Саме цей блок допомагає автоматично обирати оптимальне джерело живлення залежно від умов, характеристик струму чи температури.

5. Споживач.

Як навантаження у схемі може виступати будь-який електричний споживач - побутовий або освітлювальний прилад, наприклад. Цей блок виступає кінцевою точкою схеми, що отримує живлення через реле.

6. Модуль зв'язку та панель управління IoT.

У даній системі використовується Wi-Fi-модуль ESP8266 (рис. 2.8) для функції віддаленого моніторингу. Він, у свою чергу, необхідний для передачі даних та повідомлень на панель управління системою на смартфон, планшет або персональний комп'ютер. Дана функція дозволяє користувачам слідкувати за

станом роботи системи у будь-який час, навіть знаходячись на відстані від об'єктів [22].

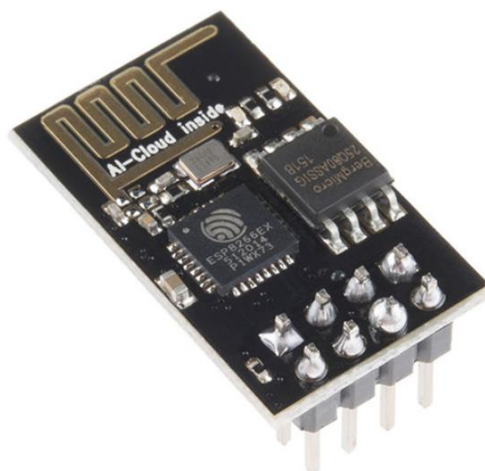


Рис. 2.8 WiFi - модуль ESP8266

Описані вище елементи вказують, що загальна структурна схема системи працює такою послідовністю:

Джерела електричного живлення - сенсори - центральний контролер - реле - навантаження - панель управління IoT.

Такий підхід уможливлює не лише автоматичне керування джерелами живлення, а й віддалений моніторинг, що дозволяє відстежувати усі параметри роботи мережі та виявляти потенційні критичні ситуації. Описані аспекти відповідають зазначеним вище функціональним та нефункціональним вимогам системи.

2.2.2 Взаємодія компонентів системи

У даному підрозділі розглянуто порядок взаємодії між джерелами живлення, сенсорами, контролерами та користувачем, що забезпечує безперервну та стабільну роботу системи.

Мережеве живлення підключене до датчика напруги ZMPT101B, що потім передає дані до мікроконтролера Arduino. Сонячна панель у свою чергу підключена до мікроконтролера через датчик струму ACS712, який контролює вироблений

джерелом електричний струм. Контроль за акумуляторною батареєю здійснюється датчиком температури TMP36. Усі параметри надходять до Arduino Uno, де здійснюється безпосередній аналіз цих даних. Після цього мікроконтролер формує керуючі сигнали. Саме ці сигнали, що передаються на реле, вирішують, яке із джерел живлення комутувати в даний момент часу до навантаження. Одночасно із цим дані передаються через Wi-Fi-модуль ESP8266 на спеціальний IoT-дашборд (панель управління) на локальних пристроях.

На рисунку 2.9 наведено схему потоків даних в енергетичній системі, що показує взаємодію між сенсорами, мікроконтролером Arduino, реле та IoT-дашбордом.

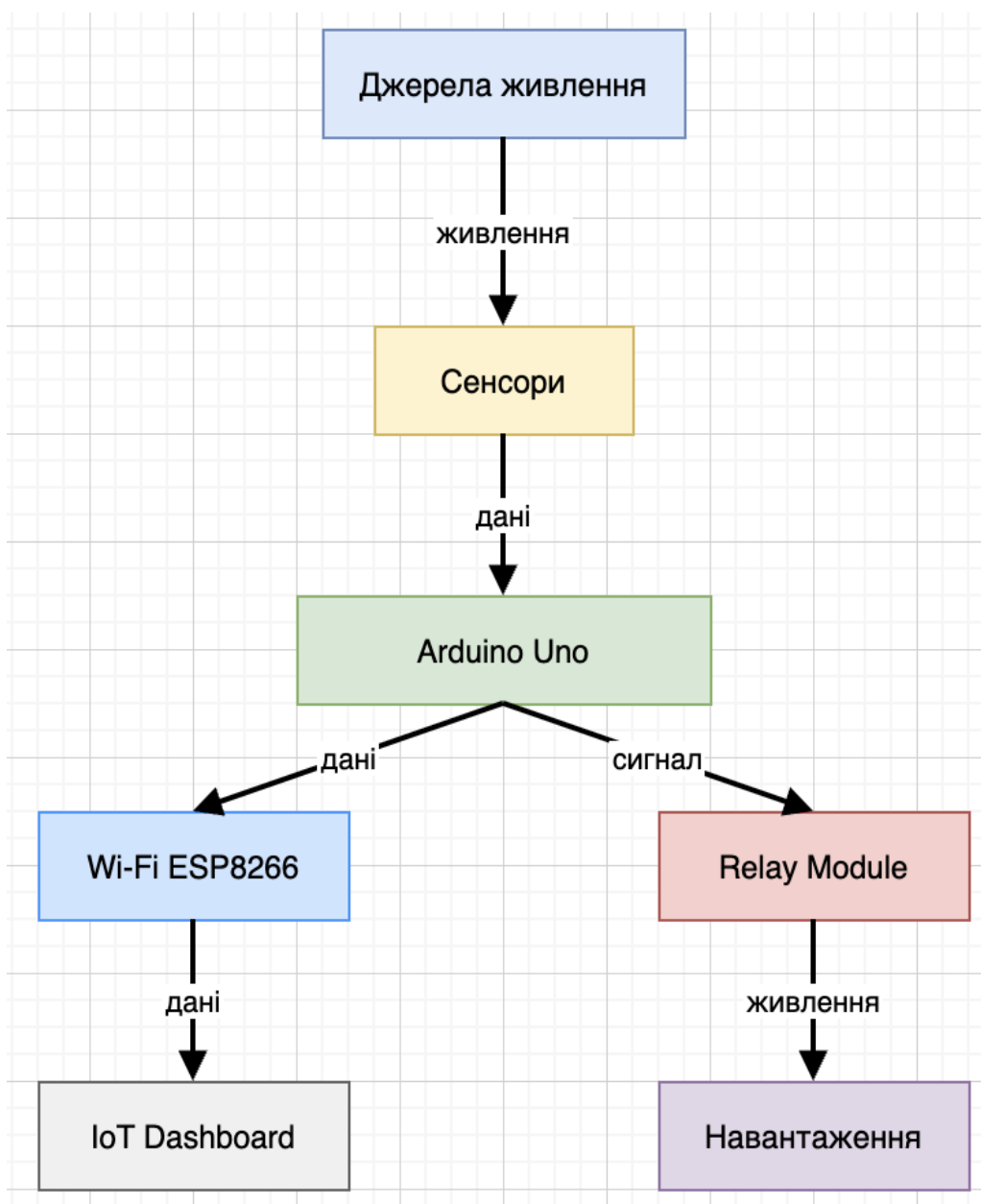


Рис. 2.9 Схема потоків даних (Data Flow Diagram)

До прикладу: якщо мережева напруга падає нижче певного рівня, датчик напруги ZMPT101B одразу це фіксує. Arduino отримує сигнал від датчика і подає сигнал реле на передачу живлення від сонячної панелі. Одразу ж після цього відбувається перевірка струму, що виробляє зараз сонячна панель. Якщо струму недостатньо, система автоматично переходить на живлення від акумулятора. У цей час користувач в панелі управління на пристрої бачить повідомлення про усі зміни джерел живлення.

На рисунку 2.10 представлена блок-схема логіки перемикавання джерел живлення залежно від фізичних параметрів, що надходять від сенсорів до мікроконтролера.

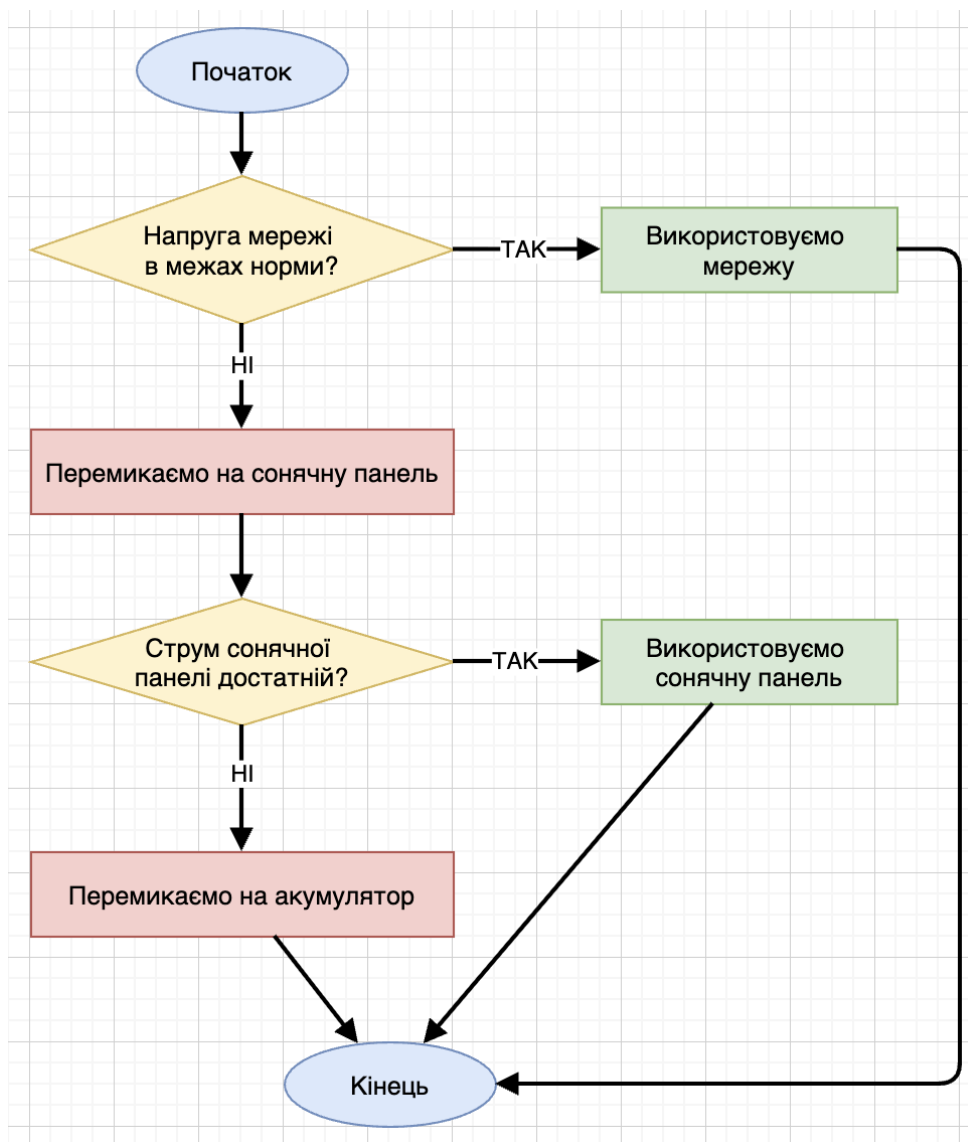


Рис. 2.10 Блок-схема логіки перемикавання джерел живлення

Взаємодія компонентів системи забезпечує автоматичне перемикавання джерел живлення залежно від параметрів струму. Ці самі параметри відстежуються завдяки сенсорам, які підключені до джерел. Будь-яка критична зміна параметрів чи перемикавання джерела одразу повідомляється користувачу незалежно від його місця розташування. Ці аспекти дозволяють електричній системі працювати стабільно незалежно від умов та обставин.

На рисунку 2.11 зображено макет інформаційної панелі управління системи, яка відображає ключові параметри системи та повідомляє користувача про критичні показники або зміну джерела живлення.

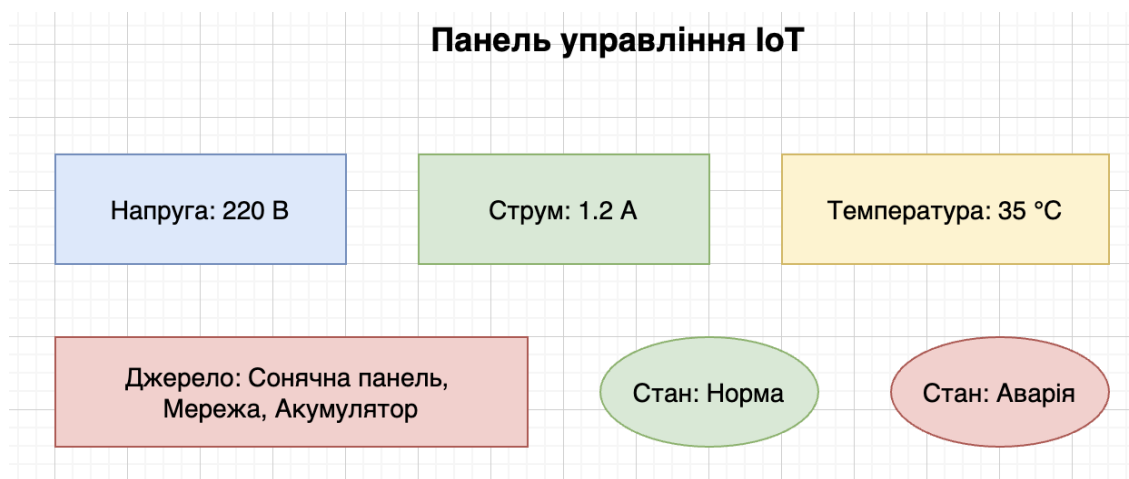


Рис. 2.11 Макет IoT-дашборду

2.3 Модель автоматичного перемикавання джерел живлення

В межах даного підрозділу описано узагальнену модель роботи системи, що визначає порядок використання джерел живлення та їх перемикавання. Залежно від фізичних параметрів, що вимірюють сенсори, приймається рішення щодо використання того чи іншого джерела.

Даний підхід допомагає електричній мережі працювати економічніше та ефективніше, уникаючи перевантаження та не допускаючи утворення критичних ситуацій.

2.3.1 Пріоритети використання джерел живлення

Між доступними джерелами живлення (а їх у поданій системі три) потрібно визначити чіткий пріоритет використання. Це одразу встановить послідовну логіку оптимального використання та дозволить системі ефективніше працювати. До того ж мережа перемикатиме джерела автоматично, без втручання людини у цей процес.

У більшості випадків першочерговим джерелом виступає мережеве живлення. Це пов'язано із тим, що воно не потребує додаткових витрат на генерацію електрики чи її акумуляцію, а також забезпечує стабільні фізичні параметри [23].

У випадку критичних відхилень від еталонних значень параметрів струму мережі або якщо мережеве живлення повністю відсутнє, система переходить до живлення за рахунок сонячної енергії. Це джерело часто є і більш економічним, і більш екологічним. Хоча це джерело має також певні недоліки у використанні, що описані нижче.

Сонячна енергія не стоїть на першому місці серед пріоритетів, адже має ряд суттєвих недоліків:

- повна відсутність струму у нічний час;
- несприятливі погодні умови або територія, де над сонячним світлом переважає висока кількість опадів;
- на великих промислових об'єктах та підприємствах - менш економічний варіант, адже побудова власних сонячних станцій є дороговартісною, на відміну від мережевого живлення [24].

Саме ці аспекти не дозволяють поставити сонячну енергію на перше місце. Вона використовується лише якщо параметри мережевого живлення нестабільні або якщо електрики там взагалі немає.

Останнім рівнем пріоритету визначені акумуляторні батареї. Їх використовують як резервне джерело деяких пристроїв у випадку нестачі електроенергії у більш пріоритетних джерелах.

Порядок використання джерел, поданий вище, дозволяє:

- зменшити фінансові витрати, використовуючи відновлювані джерела живлення;
- зберегти ресурси та параметри акумуляторів на випадок критичних ситуацій;
- забезпечити стабільну роботу електричної системи навіть за непередбачуваних умов.

Подана розстановка пріоритетів дозволяє не лише оцінити умови переходу між режимами роботи, а й описати алгоритм роботи мережі у випадку критичних ситуацій. Дані характеристики описані у наступних підрозділах.

2.3.2 Умови переходу між режимами роботи

Для того, щоб електрична система працювала стабільно, потрібно запрограмувати чітко визначені умови та правила, за якими буде відбуватися автоматичне перемикавання між джерелами електроживлення. Умови базуються на стані роботи джерел та аналізі фізичних параметрів мережі, що надходять від сенсорів.

Використання спеціальних умов допомагає системі працювати стабільно та передбачувано, навіть за змінних зовнішніх умов чи критичних ситуацій.

1. Перехід від мережевого живлення до сонячної енергії.

Враховуючи пріоритети використання джерел живлення, описані раніше, першим є живлення від мережі. Але якщо датчик напруги отримає значення, що перебуває в діапазоні нижче 200 В або перевищує 240 В, система розцінить це як критичне відхилення від еталонних значень. У цей момент керуючий модуль Arduino подає спеціальний сигнал на реле. Воно у свою чергу скомутує навантаження із мережі на сонячну панель, оскільки вона стоїть другою за пріоритетом.

Прикладом використання такої логіки перемикавання є компанія Victron Energy. Вона займається виробництвом гібридних та резервних енергосистем для підприємств та приватних будинків. Принцип полягає в тому, що мережа працює до певного порогу, після чого автоматично перемикає навантаження на сонячну генерацію [25].

2. Перехід від сонячної енергії до акумулятора.

Сонячні панелі ефективні лише за достатнього рівня інсоляції (рівня сонячного опромінення) та лише у денний час. Основну роботу зараз виконує датчик струму, що знімає показник із сонячної панелі. Якщо значення сили

виробленого струму опускається нижче 1 А, енергетична система автоматично має перемикатись на акумулятор.

Дана умова дозволить забезпечити стабільну роботу за будь-яких умов, і за недостатнього опромінення, і у вечірній час.

Порогове значення 1 А обрано тому, що воно відповідає мінімально допустимому, що може забезпечити нормальну роботу навантаження (малопотужних пристроїв або мікроконтролерів). За нижчого струму система може почати працювати нестабільно. Подібні порогові значення використовуються у більшості систем як комерційного, так і саморобного резервного живлення.

До прикладу, у системах Tesla Powerwall генерація сонця використовується до тих пір, доки вона може повністю покрити навантаження без ризику критичних ситуацій чи збоїв. Щойно датчик вимірює силу струму, що недостатня для нормальної роботи, - система автоматично переходить на живлення від акумулятора. Дана умова дозволяє зберегти безперервне живлення, уникаючи потенційних аварій [26].

3. Перехід від акумулятора до мережевого живлення або сонячної енергії.

Акумулятор є третім і останнім серед пріоритетних джерел живлення, а тому використовується як резервне. Його робота у системі обмежується рівнем заряду. Якщо заряд акумулятора становить менше ніж 20 % - система автоматично повертатиметься до мережевого живлення (за його доступності) або до сонячної генерації (за оптимальних кліматичних умов). Ця умова збереже ресурс акумулятора та уникне його глибокого розряду.

У промислових системах безперебійного електроживлення акумулятори завжди мають строге обмеження по мінімальному заряду. Це гарантує їх готовність до роботи на випадок непередбачуваних ситуацій і аварій.

Окрім електричних параметрів системи, вона також в обов'язковому порядку враховує температуру акумулятора. Для уникнення перегріву та пошкодження пристрою встановлена порогова норма у 40 °С. У випадку досягнення такої температури - система намагається перейти на живлення від мережі або ж від сонячної панелі.

Нижче, у таблиці 2.1, наведено порогові значення, при яких здійснюється перемикання джерел живлення.

Таблиця 2.1

Критичні значення параметрів та дії системи при цьому

Параметр	Критичне значення	Дії системи у випадку відхилення від еталонних значень
Напруга мережі	$< 200 \text{ В}$ або $> 240 \text{ В}$	Перехід на сонячну енергію
Сила струму сонячної панелі	нижче 1 А	Перехід на живлення від акумулятора
Заряд акумулятора	$< 20 \%$	Повернення до мережного або сонячного живлення
Температура акумулятора	$> 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Обмеження використання батареї

Використання цих умов допоможе системі працювати нормально, чітко визначити логіку перемикання між джерелами, незважаючи на зовнішні обставини.

2.3.3 Аварійні та критичні режими

При роботі із енергетичними системами можливе виникнення таких ситуацій, коли класичні умови не можуть забезпечити стабільної роботи. Це відбувається, наприклад, при відхиленнях від еталонних значень усіх описаних вище параметрів.

У такому разі мережа має переходити у аварійний (або критичний, залежно від фізичних параметрів) режим роботи. Дані режими створені для того, щоб зберегти працездатність важливої частини обладнання і уникнути її повного відключення.

1. Аварійний режим

Даний режим буде активовано у тому випадку, якщо параметри відхилені від нормальних настільки, що не можуть бути компенсовані стандартними перемиканнями, описаними у таблиці 2.1.

До прикладу, мережеве живлення повністю відсутнє, а сонячної генерації недостатньо. За рівнями пріоритету забезпечення електрикою здійснюється акумулятором. У випадку, якщо його заряд опускається нижче 20% (а це його порогове значення згідно з таблицею 2.1), він починає подавати електрику лише на критично важливі пристрої (до яких належать датчики або контролери). Схожа ситуація і з температурою акумулятора: якщо вона стає вищою за 40 °C, система так само обмежує його роботу, залишаючи подачу живлення лише на важливі пристрої.

Аварійний режим допомагає надати мінімально необхідне живлення для головних об'єктів системи. І хоча мережа починає працювати із обмеженими можливостями, вона не зупиняє своєї роботи повністю, зберігаючи актуальні дані та можливість контролю.

2. Критичний режим

Даний режим вступає у силу тоді, коли жодне із трьох джерел не може забезпечити нормальну роботу енергетичної системи.

До прикладів можна віднести повну відсутність мережі, неможливість сонячної генерації та розряд акумулятора нижче 10 % або ж одночасний вихід із ладу декількох джерел.

У даному режимі система переходить у стан повного енергозбереження, вимикаючи усі другорядні модулі, залишаючи активними лише базові функції контролю та моніторингу. Цей режим корисний на випадок непередбачуваних обставин. Він зводить до мінімуму появу технічних несправностей чи пошкоджень, щоб система мала можливість повноцінно повернутися до базової роботи після появи мережевого живлення.

Якщо розглядати критичний режим у промислових системах безперебійного електроживлення, то він корисний тим, що зберігає роботу контролера та залишає активним журнал подій, вимикаючи навантаження на всі інші пристрої.

Системи FusionSolar компанії Huawei використовують аварійний режим роботи, щоб уникнути перегріву батарей та можливих пожеж. А у компанії Schneider Electric критичний режим залишає живлення лише серверам та мережевому обладнанню.

РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ІОТ-СИСТЕМИ

3.1 Реалізація системи

У межах даного розділу буде описано процес практичної реалізації системи на основі інтернету речей, що була визначена та спроектована у попередніх розділах. Реалізація даної мережі включає у себе два основні аспекти: апаратну та програмну частину.

Апаратна частина системи охоплює побудову схем, підбір та підключення усіх необхідних компонентів та організацію живлення між усіма елементами.

Програмна частина системи забезпечує логіку роботи системи, усі необхідні налаштування та коди для обробки даних від сенсорів, забезпечуючи стабільне керування виконавчими пристроями.

У наступних підрозділах буде деталізовано кожен із зазначених аспектів.

3.1.1 Реалізація апаратної частини системи

Електрична система автоматичного перемикання джерел електроживлення була спроектована у середовищі проектування електроніки та програмування Tinkercad від компанії Autodesk (рис. 3.1). Середовище було обрано завдяки тому, що воно є зручним у використанні, підтримує контролери від Arduino та використовує мову програмування C++ як програмну частину роботи [27].

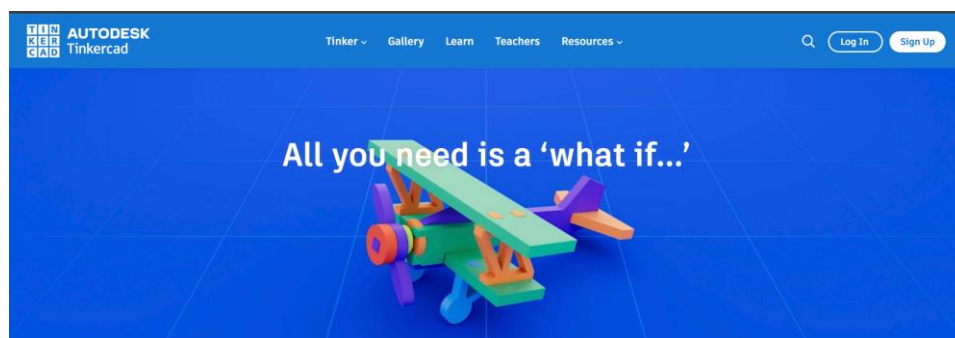


Рис. 3.1 Головна сторінка середовища проектування Tinkercad

Для реалізації апаратної частини системи було використано наступні фізичні прилади:

1. Мікроконтролер Arduino Uno - ключовий пристрій, що надає команди реле для перемикання джерела струму залежно від сенсорів.
2. Макетна плата (breadboard) - для забезпечення зручного з'єднання пристроїв між собою.
3. Три потенціометри - у схемі використовуються для моделювання електричних параметрів реальних джерел (мережі, сонячної панелі та акумулятора).
4. Три реле типу SPDT - для перемикання джерел живлення залежно від параметрів.
5. Датчик температури TMP36 - для регулювання температури, що буде впливати на використання акумулятора.
6. Світлодіод та резистор до нього - виступають як тестовий споживач, що показує, що перемикання відбувається правильно.
7. LCD (Рідкокристалічний дисплей) - використовується для виведення повідомлень про температуру акумулятора та джерело, що наразі є активним. Слугує для моделювання надсилання повідомлень користувачу про поточну роботу електричної системи.

Усі описані вище компоненти (без з'єднання між собою) зображені на рисунку 3.2 і 3.3. Надалі буде детально пояснено логіку роботи та з'єднання кожного із пристроїв між собою.

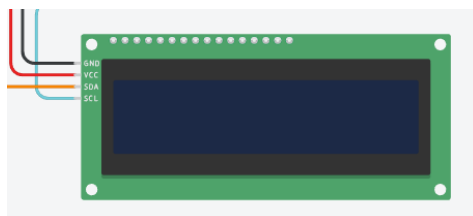


Рис. 3.2 Дисплей 16 x 2 (I2C)

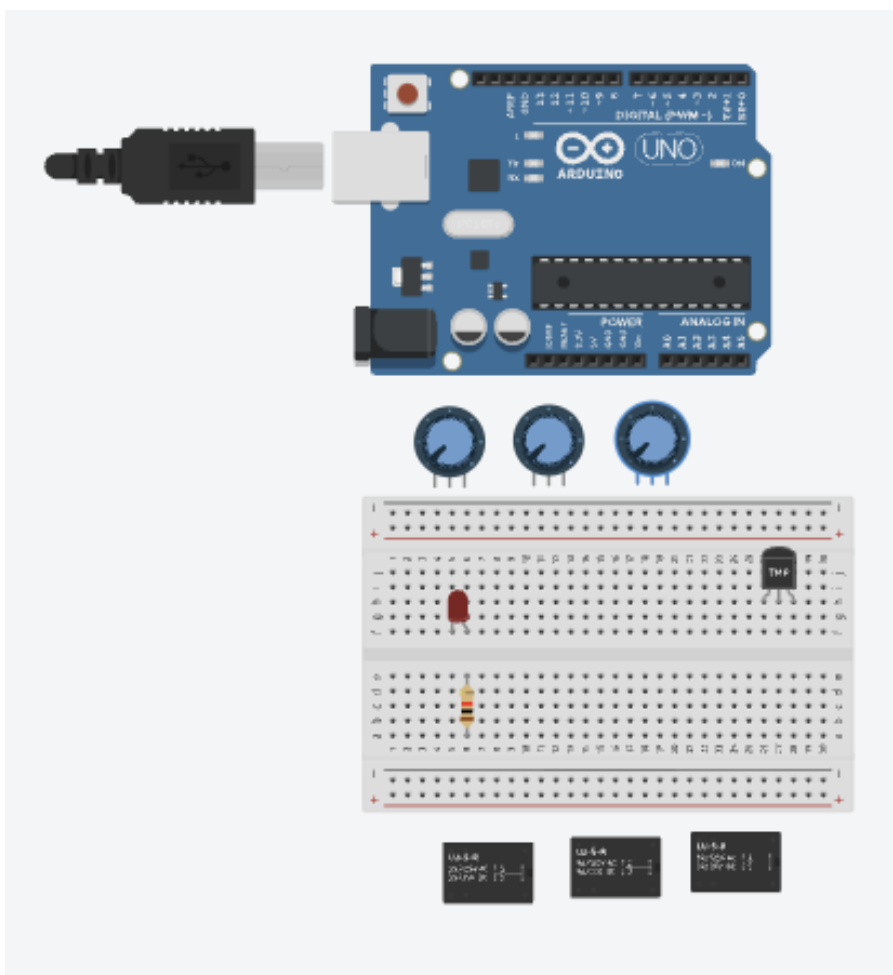


Рис. 3.3 Фізичні прилади IoT-системи

Виконавчим ядром системи виступає мікроконтролер Arduino Uno. Він забезпечує електричне живлення та обробку сигналів від сенсорів, а також керування виконавчими пристроями.

Для забезпечення ефективного монтажу пристроїв між собою було використано макетну плату (breadboard). Вона дозволяє наочно та швидко організувати з'єднання елементів між собою.

До аналогових входів Arduino було під'єднано три потенціометри (A0, A1, A2) та датчик температури TMP36 (A3). У даній системі потенціометри слугують для моделювання зміни параметрів системи (напруги та струму), а датчик температури покаже реальні зміни роботи акумулятора, адже дозволяє у реальному часі змінювати температуру.

Електричне живлення потенціометрів і датчика температури організовано через шини макетної плати 5V та GND (червоного та чорного кольору відповідно).

Як джерело живлення для індикації правильної роботи використано світлодіод із резистором, що підключено до спільних контактів реле. Три реле типу SPDT забезпечують перемикання між трьома джерелами живлення, враховуючи пріоритет: електричною мережею, сонячною панеллю та акумулятором.

Кожне із цих реле керується окремим цифровим входом Arduino (D2, D3, D4 для мережі, сонячної панелі та акумулятора відповідно). При активації відповідного реле світлодіод буде отримувати значення від одного джерела.

Дисплей для виведення інформації про активне джерело та температуру акумулятора під'єднано до джерела струму та заземлено, а також підключено SDA (Serial Data) та SCL (Serial Clock) до пінів Arduino Uno A4 та A5 відповідно.

Нижче, на рисунку 3.4, наведено під'єднання усіх необхідних пристроїв електричної системи.

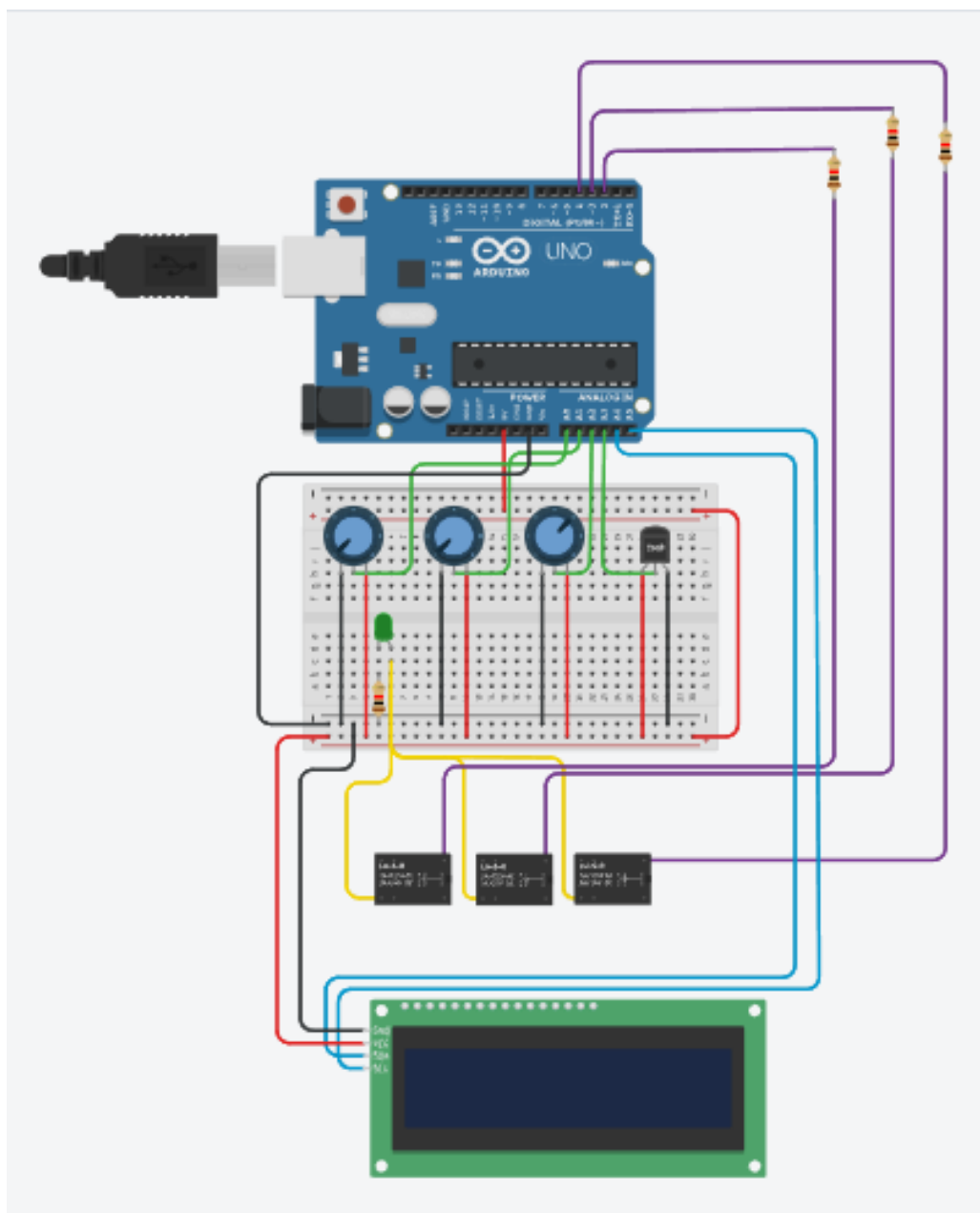


Рис. 3.4 Компоненти електричної системи, що приєднані до мікроконтролера Arduino Uno

Опишемо з'єднання проводами кожного із пристроїв заданої системи.

1. До головного компонента, що керує всіма процесами - Arduino Uno, приєднано, в першу чергу, проводи червоного та чорного кольору до макетної плати для живлення та заземлення відповідно.
2. У один ряд макетної плати встановлено три потенціометри (для моделювання електричних параметрів мережевого живлення, сонячної панелі та акумулятора) і датчик температури (для реалістичного перемикання роботи

акумулятора). Усі чотири компоненти заземлені, подана напруга, а також поєднані зеленими проводами із аналоговими пінами Arduino (A0, A1, A2 та A3 відповідно).

3. Встановлено світлодіод, що слугує тестовим споживачем електричного струму. Для обмеження струму встановлено резистор. Він показує правильність перемикання між джерелами електрики.
4. Використовується 3 реле типу SPDT (Single Pole, Double Throw) для вибору джерела живлення. Вони під'єднані до цифрових пінів Arduino Uno - D2, D3 та D4 відповідно. Кожне із реле з'єднане із анодом світлодіода. Залежно від значень потенціометра - одне із реле подаватиме напругу, враховуючи пріоритети та значення самих пристроїв.
5. До A4 та A5 пінів Arduino Uno під'єднано дисплей для моделювання надсилання повідомлень користувачу про стан роботи системи (провода блакитного кольору).

Для уникнення перегріву та короткого замикання мікроконтролера між трьома реле та самим Arduino було встановлено резистори з опором 1 кОм.

Щоб електрична система працювала коректно та перемикала джерела живлення, необхідна програмна логіка. Саме вона визначатиме пріоритетність використання джерел та способи їх перемикання. Інтелектуальне керування описаними вище компонентами розглянуто у наступному підрозділі.

3.1.2 Реалізація програмної частини системи

Програмна частина електричної системи була реалізована мовою програмування C++ у середовищі Arduino IDE.

Ця частина відповідає за обробку сигналів від сенсорів і потенціометрів, прийняття рішень щодо вибору того чи іншого джерела та керування реле. Код був побудований таким чином, щоб врахувати і значення аналогових входів, і показники температури, що будуть впливати на використання акумулятора. Додатково залежно від активного джерела та температури буде виводитися

відповідна інформація на дисплей. Нижче подано лістинг повноцінного коду, що визначає роботу системи автоматичного перемикання.

Лістинг коду:

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x20, 16, 2);

const int relays[] = {2, 3, 4};
const int pots[] = {A0, A1, A2};
const int tempSensor = A3;

void setup() {
  for (int r : relays) { pinMode(r, OUTPUT); digitalWrite(r, LOW); }
  Serial.begin(9600);
  lcd.init(); lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0,0); lcd.print("System starting...");
}

float readTemp() {
  return (analogRead(tempSensor) * 5.0 / 1023.0 - 0.5) * 100;
}

void showStatus(const char* msg, float temp) {
  lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Temp: "); lcd.print(temp);
  lcd.setCursor(0,1); lcd.print(msg);
}

void activateSource(int idx) {
  for (int i=0; i<3; i++) digitalWrite(relays[i], LOW);
  if (idx >= 0) digitalWrite(relays[idx], HIGH);
}

void loop() {
  int vals[3]; for (int i=0; i<3; i++) vals[i] = analogRead(pots[i]);
  float temp = readTemp();

  if (temp > 40) {
    activateSource(-1);
    if (vals[1] > 500) { activateSource(1); showStatus("Solar ON ", temp); }
    else if (vals[0] > 500) { activateSource(0); showStatus("Grid ON ", temp); }
```

```

else showStatus("All OFF ", temp);
} else {
  if (vals[0] > 500) { activateSource(0); showStatus("Grid ON ", temp); }
  else if (vals[1] > 500) { activateSource(1); showStatus("Solar ON ", temp); }
  else if (vals[2] > 500) { activateSource(2); showStatus("Battery ON", temp); }
  else { activateSource(-1); showStatus("All OFF ", temp); }
}
delay(1500);
}

```

На початку було імпортовано дві бібліотеки для коректної роботи дисплея LCD.

У коді визначено три цифрові виходи D2, D3 та D4, що керуватимуть відповідними реле для електричної мережі, сонячної панелі та акумулятора. Оголошено 4 аналогових входи A0, A1, A2 та A3 для потенціометрів та датчика температури.

В межах функції setup() усі реле вимкнені і будуть вмикатись залежно від пріоритетності, показників потенціометрів та датчика температури. Також було ініціалізовано дисплей.

Ключова логіка роботи системи була реалізована у межах функції loop(). Відбувається зчитування даних із потенціометрів і датчика температури, переведення даних у потрібний формат (із цифрового у “людський”) та відповідний запис до терміналу та дисплея LCD, що буде показувати роботу системи у межах реального часу. Наступним етапом програми є аналіз отриманих даних.

Якщо температура датчика перевищує 40 °С, мікроконтролер автоматично вимикає третє реле, тим самим вимикаючи третій потенціометр (акумулятор) для запобігання перегріву та потенційних аварій. Якщо виникає така ситуація, джерело живлення буде вибиратися між сонячною панеллю та акумулятором залежно від того, що наразі активно. Якщо активні обидва джерела, вибір іде за пріоритетом. Тобто електрична мережа. Якщо усі з поданих джерел наразі неактивні, система повідомляє про повне відключення джерел до стабілізації ситуації.

Якщо температура акумулятора знаходиться у межах норми - система вибирає за пріоритетом:

1. Мережа (найбільш стабільна).
2. Сонячна панель (альтернативне екологічне джерело).
3. Акумулятор (резервне джерело).

Джерело може бути обрано лише якщо значення відповідного потенціометра перевищує порогове значення (щонайменше 500 одиниць).

Для зручності подачі інформації та тестування роботи системи використовується Serial Monitor всередині Arduino IDE. У ньому буде відображатися миттєве значення потенціометрів, температура, знята із датчика, а також активне джерело. Додатково виводиться інформація про вимкнення батареї на випадок температури, що перевищує 40 °C. На дисплеї LCD відображаються температура та активне джерело, що є аналогами відправлення повідомлень людині на цифровий пристрій.

Програмний код дозволив інтелектуально скерувати роботу апаратних компонентів системи. Було враховано алгоритм вибору джерела електроживлення, спираючись на показники датчиків та температурні обмеження. Це дозволило змодельовати реальні умови роботи енергетичної системи, а отже, гарантувати її безпечність та стабільність.

3.2 Тестування системи у різних режимах роботи

Для того, щоб перевірити працездатність IoT-системи, було проведено низку тестувань. Вони відрізнялися між собою активними електричними джерелами та значеннями температури акумулятора. Залежно від активних джерел та фізичних параметрів приймалося рішення щодо перемикання джерел струму та виведення відповідного повідомлення на дисплей.

Основною метою даних тестувань було:

- коректність алгоритму вибору джерела електроживлення;
- перевірка роботи захисту акумулятора у випадку досягнення ним температури, що перевищує еталонне значення;

- демонстрація пріоритетів між джерелами (мережа - сонячна панель - акумулятор).

Нижче наведено проведені сценарії тестування.

Нормальна температура акумулятора (до 40 °C):

- Встановлюємо значення першого потенціометра (мережа) вище за 500.
У такому випадку світлодіод живитиметься від електромережі, а на дисплеї відобразиться відповідне повідомлення (рис. 3.5, а).
- Замість першого потенціометра встановимо значення другого на значення 500 і вище (перший - вимкнено). У такому випадку навантаження отримуватиме електроенергію від сонячної панелі (рис. 3.5, б).

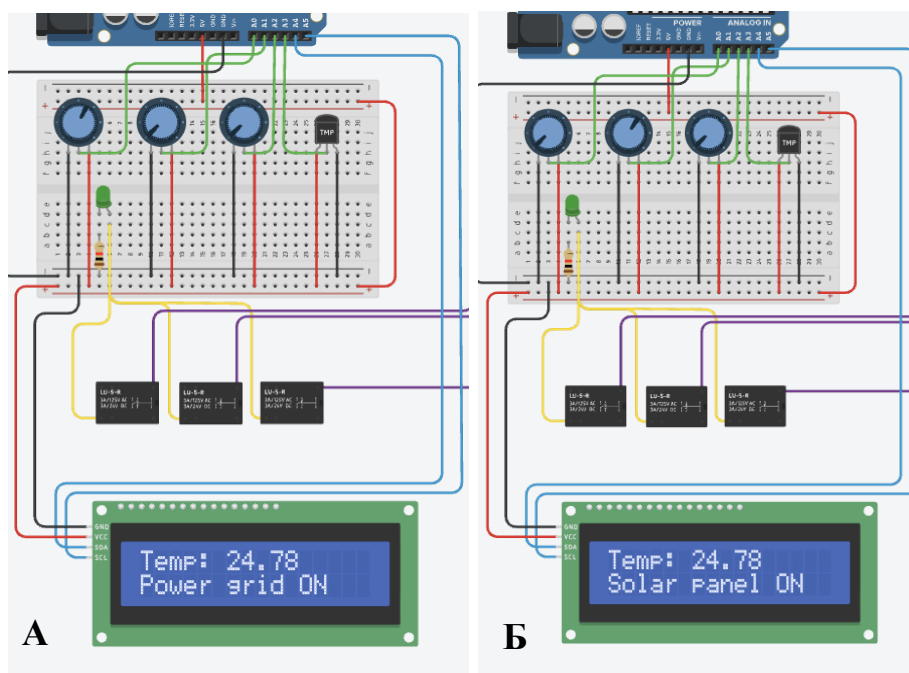


Рис. 3.5 Активне джерело:

а - електрична мережа; б - сонячна панель

- Вимкнемо потенціометри 1 і 2 і увімкнемо потенціометр 3 (акумулятор). Він працюватиме так само, як і попередні джерела, із відповідним записом на дисплеї (рис. 3.6).

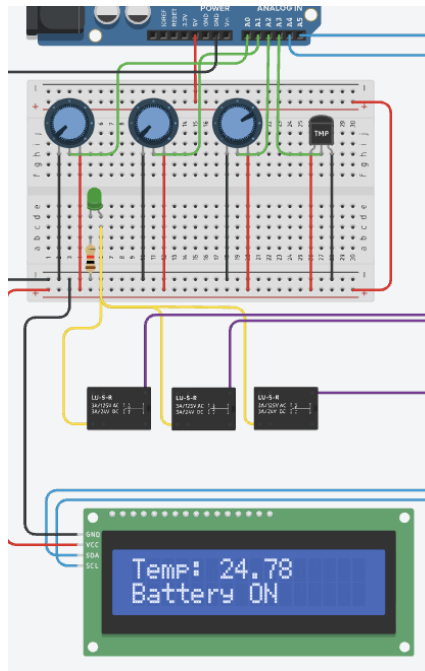


Рис. 3.6 Активне джерело: акумулятор

- d. У випадку, якщо ввімкнено декілька джерел одночасно або всі одразу - живлення відбуватиметься від того, хто вищий за пріоритетністю (починаючи від мережі, далі - сонячна панель, у кінці - акумулятор) (рис. 3.7, а; рис. 3.7, б).

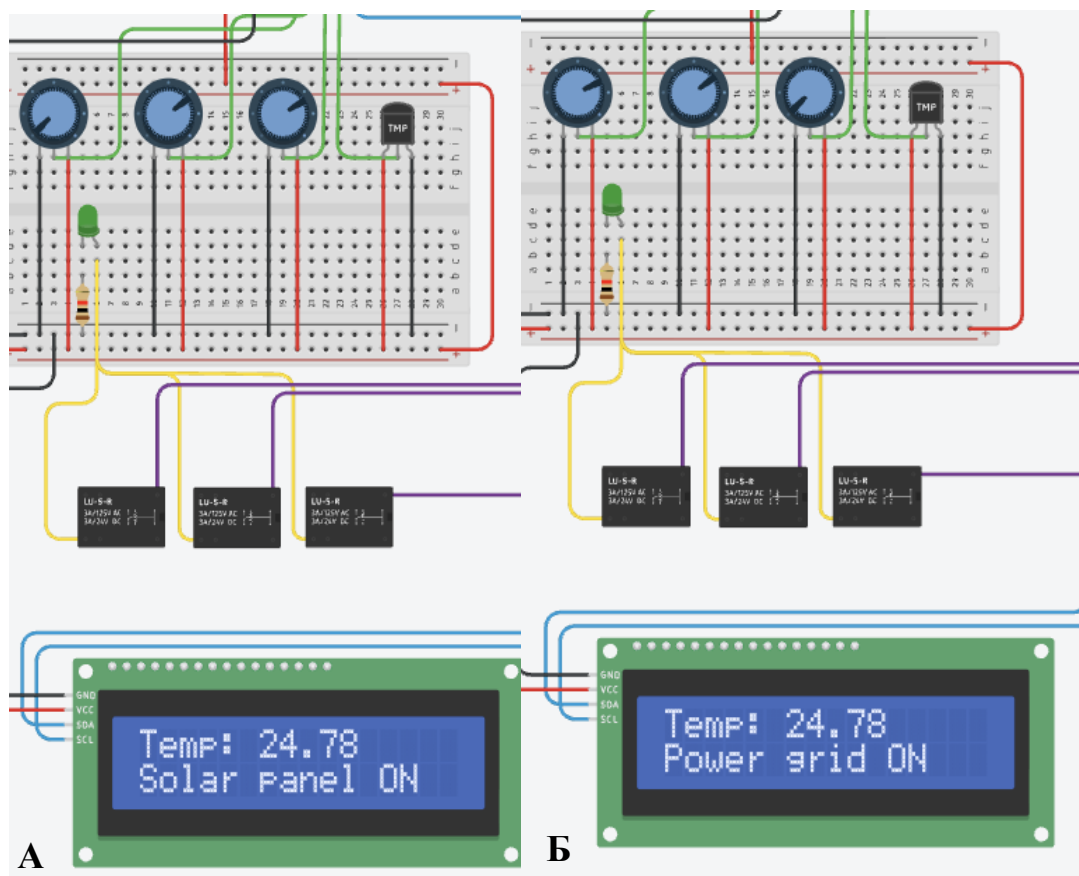


Рис. 3.7 Одночасно активні джерела:

а - сонячна панель та акумулятор; б - мережа та сонячна панель

Перегрів акумулятора (більше 40 °С):

- а. Якщо акумулятор досяг температури 40 °С, система автоматично блокує подачу електроенергії від третього потенціометра незалежно від його поточного значення. Джерелом у такому випадку буде або сонячна панель, або мережа. Відповідне повідомлення буде виведено на дисплей (рис. 3.8).

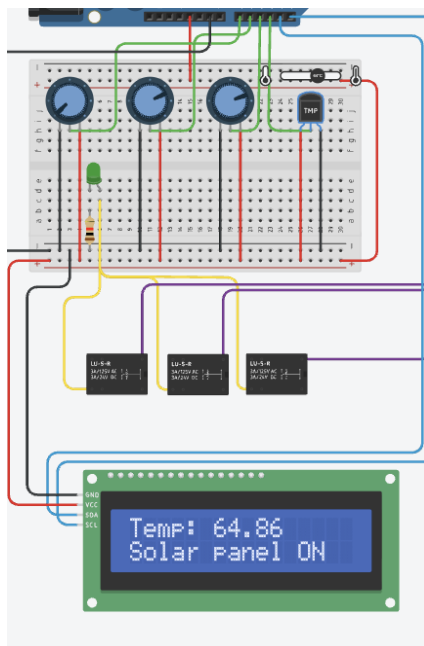


Рис. 3.8 Активація сонячної панелі після перегріву акумулятора

- б. Існує ймовірність, що недоступними будуть усі електричні джерела - відсутня мережа, погана погода та блокування акумулятора через високу температуру. У такому випадку система переходить у аварійний режим, а на дисплей виводиться інформація про відсутність активного електроджерела (рис. 3.9).

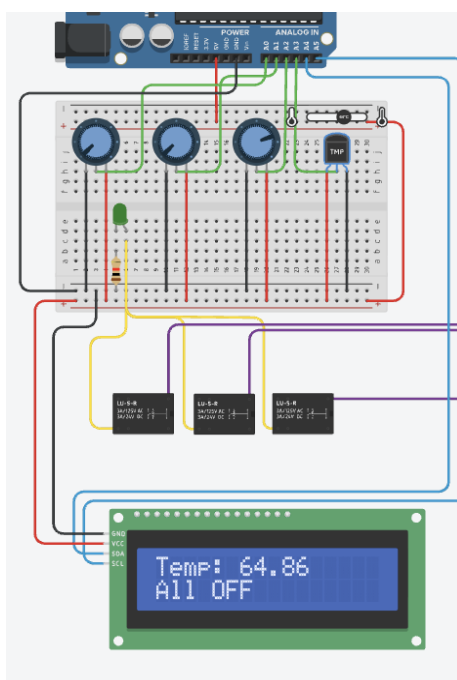


Рис. 3.9 Критичний режим

Така ситуація є критичною з точки зору роботи системи. Доцільно передбачити вдосконалення алгоритму керування - наприклад, автоматичне перемикання джерела у випадку перегріву акумулятора, якщо є доступне. Додатково можна розширити систему, підключивши до неї додаткове джерело живлення (другий акумулятор, генератор тощо).

Подані вище проведені тестування підтвердили коректність роботи як апаратної, так і програмної частини системи. Вона направлена у першу чергу на пріоритетність вибору джерела живлення та захист пристроїв від критичних збоїв та потенційних аварій. Також розглянуто критичний сценарій - повну відсутність активних електричних джерел. Це підкреслює необхідність подальшого вдосконалення системи автоматичного перемикання.

ВИСНОВКИ

У межах даної дипломної роботи було проведено комплексне дослідження, що спрямоване на розробку та практичну реалізацію системи автоматичного перемикавання джерел електричного живлення на основі інтернету речей.

Дана тема є особливо актуальною, оскільки з'явилась тенденція до зростання навантаження на енергосистеми. Це, у свою чергу, почало призводити до нестабільного електропостачання, як наслідок - з'явилась необхідність у забезпеченні безперебійного живлення споживачів за будь-яких умов. Інтеграція інтернету речей у поєднанні із гібридними джерелами енергії дозволяє відкрити нові практичні можливості у галузі енергетики, зокрема, підвищується її надійність, гнучкість та ефективність.

Перший розділ містив в основному теоретичну складову. Було здійснено аналіз основ побудови систем безперебійного електроживлення, розглянуто принципи функціонування джерел енергії у таких системах, а також їх типізацію та класифікацію. Особлива увага приділена інтеграції IoT-технологій у енергетичну сферу. Зокрема, було зазначено, що дана концепція дозволяє автоматизувати велику кількість процесів, здійснювати віддалений моніторинг роботи та оптимізувати використання джерел електричного живлення. Проведений огляд сучасних існуючих рішень допоміг визначити їхні позитивні та негативні сторони, а також сформулювати фундаментальні вимоги до нової архітектури системи.

У другому розділі було розроблено архітектуру системи автоматичного перемикавання джерел електроживлення між електромережею, сонячною панеллю та акумулятором. Побудовано структурну схему системи, описано алгоритм вибору того чи іншого джерела, враховуючи при цьому їхню пріоритетність та температурні обмеження. Описана та запропонована модель дозволяє забезпечити автоматичне прийняття рішень щодо вибору поточного активного джерела. У цьому процесі обов'язково враховано як технічні параметри, так і умови експлуатації пристроїв.

У третьому розділі здійснено практичну реалізацію системи. Апаратна частина системи була побудована на базі мікроконтролера Arduino Uno, використовуючи також потенціометри (для моделювання фізичних параметрів), реле, датчик температури та LCD-дисплей. Програмна частина була реалізована мовою програмування C++ у середовищі Arduino IDE. Такий вибір забезпечив логічний вибір активного джерела живлення, контроль за температурними показниками та виведення відповідних повідомлень на дисплей. Проведені тестування підтвердили коректну роботу системи, а поданий алгоритм правильно відпрацьовує пріоритетність та забезпечує її захист від критичних збоїв та перевантажень.

Водночас було виявлено критичний сценарій роботи - повну відсутність активних джерел живлення. Система автоматично переходить у аварійний режим роботи із надсиланням відповідного повідомлення користувачу. Дана ситуація підкреслює необхідність подальшого вдосконалення алгоритму та можливість додавання резервного джерела до системи.

Дипломна робота має важливе практичне значення. Воно полягає у створенні працездатної моделі системи на основі інтернету речей, що може бути використана як навчальний приклад у сфері енергомоніторингу і автоматизації. До того ж така концепція може стати основою для малих комерційних або побутових рішень. Теоретичні результати роботи можна застосувати для подальших досліджень у галузі енергоефективних технологій та інтеграцій IoT.

Отже, кваліфікаційна робота підтвердила свою актуальність та визначила інтернет речей як перспективну концепцію у сфері енергетики. Реалізована модель довела свою працездатність та показала перспективи та напрями розвитку для створення більш надійного, гнучкого та енергоефективного рішення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Що таке IoT простими словами? [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://exbase.io/uk/wiki/iot-internet-reczej> (дата звернення: 07.03.2026)
2. Архітектура інтернету речей. [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://dgtlinfra.com/internet-of-things-iot-architecture/> (дата звернення: 23.03.2026)
3. Що таке датчики PIR і як вони працюють між собою? [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.clearway.co.uk/news/what-are-pir-cameras-and-how-do-they-work/> (дата звернення: 24.03.2026)
4. IoT and connected solutions. [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.vvdntech.com/internet-of-things> (дата звернення: 24.03.2026)
5. Data Transfer Protocols. [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.cdata.com/glossary/data-transfer-protocols/> (дата звернення: 24.03.2026)
6. What is a Data Lake? [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.weforum.org/stories/2015/02/what-is-a-data-lake/> (дата звернення: 25.03.2026)
7. Four layers of IoT Architecture. [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.zipitwireless.com/blog/4-layers-of-iot-architecture-explained> (дата звернення: 25.03.2026)
8. Інтернет речей в енергетиці. [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12083-024-01725-8> (дата звернення: 27.03.2026)
9. Історія компанії APC. [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.se.com/ua/uk/brands/apc/apc-history/> (дата звернення: 27.03.2026)
10. Новий ABB Ability SmartTracker. [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://new.abb.com/news/detail/100908> (дата звернення: 27.03.2026)
11. Як працюють джерела безперебійного електроживлення. [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://karatltd.com.ua/blog/iak-pratsiuiut-dzherela-bezperebiinoho-zhyvlennia> (дата звернення: 28.03.2026)

12. Гібридні системи енергозбереження: що це таке та як вони працюють. [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://landlord.ua/agrolife-en/gibridni-sistemi-energozberezhennya-sho-tse-take-ta-yak-voni-pratsyuyut/> (дата звернення: 30.03.2026)

13. Глобальний ринок гібридних енергетичних рішень у 2024 році. [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.researchandmarkets.com/reports/4805524> (дата звернення: 31.03.2026)

14. Conceptpower DPA. [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://new.abb.com/ups/systems/three-phase-ups/conceptpower-dpa> (дата звернення: 01.04.2026)

15. Джерела безперебійного живлення Eaton. [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.eaton.com/ups> (дата звернення: 02.04.2026)

16. PoEwit Cloud UPS. [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://poewit.com> (дата звернення: 02.04.2026)

17. Arduino Uno Q. [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.arduino.cc/product-uno-q> (дата звернення: 04.04.2026)

18. Автоматичне перемикання на основі інтернету речей із автоматичним запуском/зупинкою генератора. [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://smartechmolabs.com/iot-based-automatic-changeover-with-auto-gen-start-stop> (дата звернення: 07.04.2026)

19. Нефункціональні вимоги: приклади, типи, підходи. [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://training.qatestlab.com/blog/technical-articles/non-functional-requirements-examples-types-approaches/> (дата звернення: 09.04.2026)

20. Що таке фізична безпека. [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.vpnunlimited.com/ua/help/cybersecurity/physical-security> (дата звернення: 11.04.2026)

21. Як вибрати найкращий релейний модуль для Arduino? [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу:

<https://smartbuy.alibaba.com/buyingguides/relay-module-arduino> (дата звернення: 17.04.2026)

22. NodeMCU ESP8266 Detailed Review. [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.make-it.ca/nodemcu-details-specifications> (дата звернення: 19.04.2026)

23. 2E - інструкція користувача по налаштуванню сонячного інвертора / зарядного пристрою, ст. 18. (дата звернення: 20.04.2026)

24. Переваги та недоліки галузі сонячної енергетики. [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.ueex.com.ua/presscenter/news/perevagi-ta-nedoliki-galuzi-sonyachnoi-energetiki/> (дата звернення: 21.04.2026)

25. Blue Power - Victron Energy [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.victronenergy.ua> (дата звернення: 22.04.2026)

26. Tesla Powerwall [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.tesla.com/powerwall> (дата звернення: 22.04.2026)

27. Tinkercad [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.tinkercad.com> (дата звернення: 04.05.2026)



Система безперебійного електроживлення на основі інтернету речей

Презентація до захисту кваліфікаційної роботи
Студента 4 курсу групи ІСД-41
Спеціальності Інформаційні системи та технології
Кухаренка Артема Руслановича
Науковий керівник: *Жидка Ольга Валеріївна*

Основні положення дослідження

2

Мета

Розробка і практична реалізація системи автоматичного перемикання джерел електроживлення, використовуючи інтернет речей.

Об'єкт і предмет дослідження

Об'єкт: система безперебійного електроживлення із інтегрованою технологією IoT.
Предмет: аналіз та створення алгоритму перемикання між джерелами електроенергії.

Наукова новизна

Створення моделі автоматичного перемикання джерел живлення із віддаленим моніторингом.

Що таке інтернет речей (IoT)

3

Інтернет речей (Internet of things, IoT) - це мережа сенсорів та пристроїв, що автоматично збирають і передають дані, забезпечуючи віддалений моніторинг та керування у реальному часі.



Джерела живлення

4

У системі використовуються три основні джерела:

- 1) централізована електромережа;
- 2) сонячні панелі;
- 3) акумуляторні батареї.



1



2

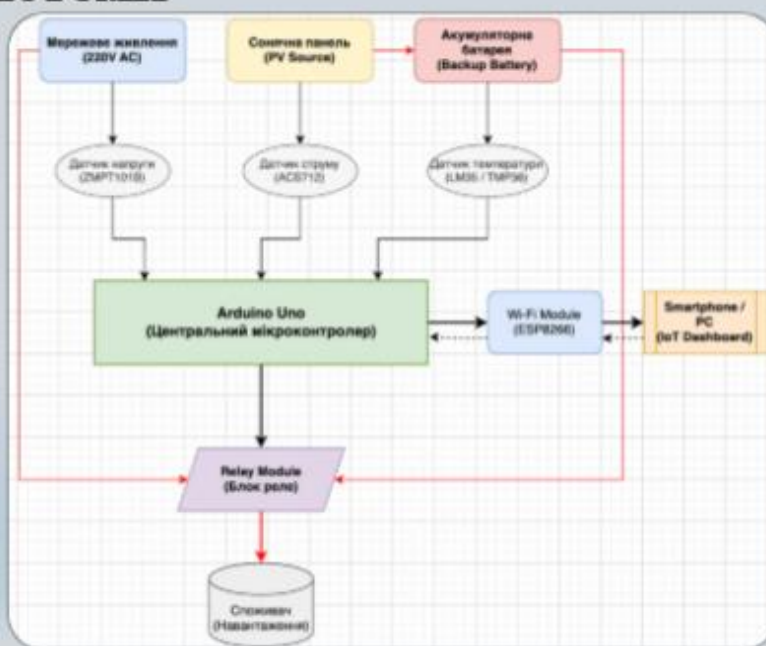


3

Архітектура системи

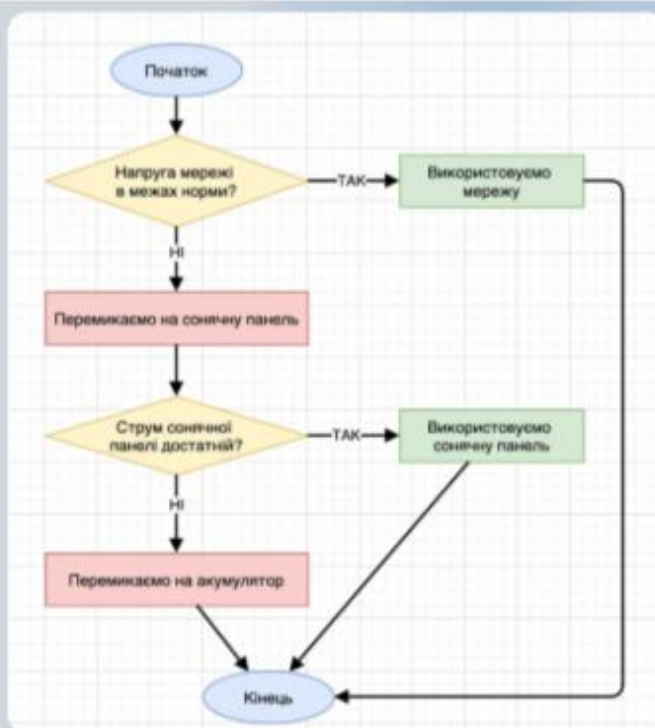
5

Архітектура системи включає контролер, датчики, реле та дисплей. Також передбачено Wi-Fi модуль, який не був реалізований, але є складовою IoT-архітектури.



Алгоритм роботи

Алгоритм роботи системи передбачає перевірку температури, вибір джерела за пріоритетом, перемикавання реле та відображення інформації на дисплеї й у системі моніторингу.

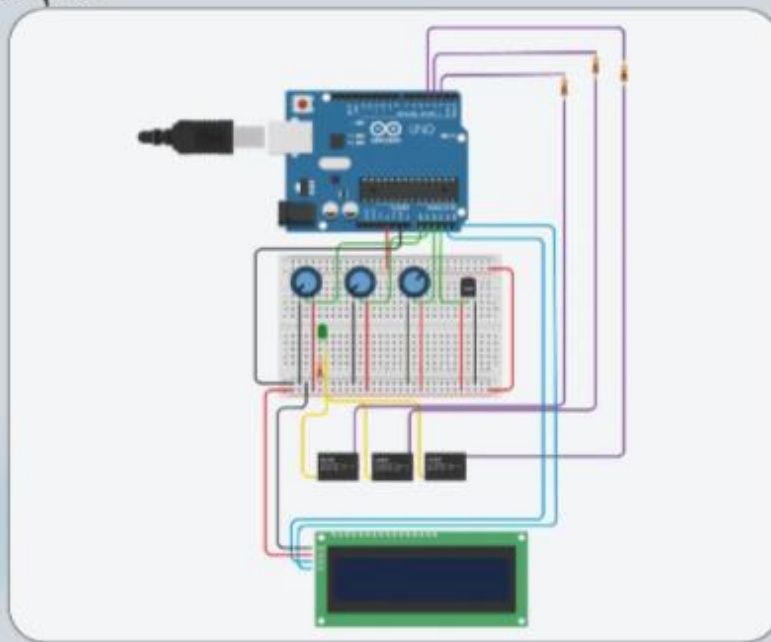


6

Апаратна реалізація

7

Апаратна частина складається з Arduino, модуля реле, датчиків температури та потенціометрів, LCD - дисплея та макетної плати.



Програмна реалізація

8

Програмна частина реалізована на Arduino IDE, включає код для керування реле та LCD, алгоритм автоматичного перемикування джерел та серійний монітор для відладки.

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x20, 16, 2);

const int relays[] = {2, 3, 4};
const int pots[] = {A0, A1, A2};
const int tempSensor = A3;

void setup() {
  for (int i : relays) { pinMode(i, OUTPUT); digitalWrite(i, LOW); }
  Serial.begin(9600);
  lcd.init(); lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0,0); lcd.print("System starting...");
}

float readTemp() {
  return (analogRead(tempSensor) * 5.0 / 1023.0 - 0.5) * 100;
}

void showStatus(const char* msg, float temp) {
  lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Temp: "); lcd.print(temp);
  lcd.setCursor(0,1); lcd.print(msg);
}

void activateSource(int idx) {
  for (int i=0; i<3; i++) digitalWrite(relays[i], LOW);
  if (idx >= 0) digitalWrite(relays[idx], HIGH);
}

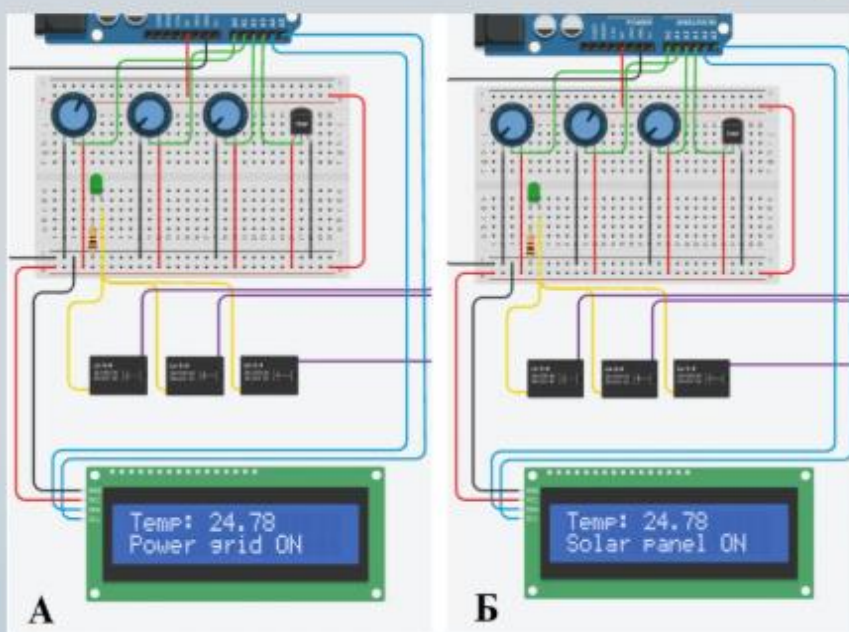
void loop() {
  int vals[3]; for (int i=0; i<3; i++) vals[i] = analogRead(pots[i]);
  float temp = readTemp();

  if (temp > 40) {
    activateSource(-1);
    if (vals[1] > 500) { activateSource(1); showStatus("Solar ON ", temp); }
    else if (vals[0] > 500) { activateSource(0); showStatus("Grid ON ", temp); }
    else showStatus("All OFF ", temp);
  } else {
    if (vals[0] > 500) { activateSource(0); showStatus("Grid ON ", temp); }
    else if (vals[1] > 500) { activateSource(1); showStatus("Solar ON ", temp); }
    else if (vals[2] > 500) { activateSource(2); showStatus("Battery ON ", temp); }
    else { activateSource(-1); showStatus("All OFF ", temp); }
  }

  delay(1500);
}
```

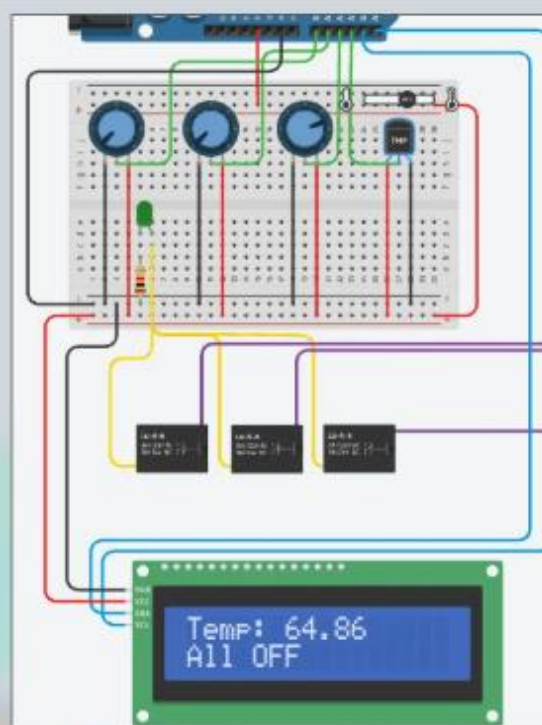
Тестування

Система протестована у різних режимах роботи: при зміні температури, перемиканні між мережею, сонячними панелями та батареєю, з відображенням стану на дисплеї.



Тестування

Також зображена ситуація, коли буде вимкнено усі джерела живлення, на випадок перегріву акумулятора.



10

Висновки

11

У роботі розроблено та реалізовано модель IoT-системи безперебійного живлення, яка забезпечує автоматичне перемикання джерел та підтвердила ефективність у тестових режимах.



Апробація

12

1. VII Всеукраїнська науково-технічна конференція “Сучасний стан та перспективи розвитку IoT” (Київ, ДУІКТ, 20 квітня 2026 р.). Теза доповіді на тему “Система безперебійного електроживлення на основі інтернету речей” опублікована у збірнику матеріалів конференції (стор. 183).
2. Всеукраїнська науково-технічна конференція “Технології цифрового розвитку: програмні системи та децентралізація” (Київ, ДУІКТ, 1 травня 2026 р.). Теза доповіді на тему “Безпека, надійність та економічна ефективність IoT-систем безперебійного електроживлення” опублікована у збірнику матеріалів конференції.