

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

РУДАВСЬКИЙ Володимир Ярославович

**Автоматизована система керування та моніторингу
енергозабезпечення будинку / Automated system of control and
monitoring of the energy supply of the house**

спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи АКІТ – 42/1
В.Я. Рудавський

Науковий керівник
к.т.н., О.М.Заставний

Кваліфікаційну роботу допущено
до захисту:

« ____ » _____ 2026 р.

Завідувач кафедри

_____ А.І.Сегін

ТЕРНОПІЛЬ – 2026

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"

Спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри СКС

_____ А.І.Сегін
“ _____ ” _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

**НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
РУДАВСЬКОМУ Володимиру Ярославовичу**

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи

Автоматизована система керування та моніторингу енергозабезпечення
будинку /Automated system of control and monitoring of the energy supply of the
house

керівник роботи к.т.н., Заставний О.М.

затверджені наказом по університету від 01.12.2025р №894

2. Строк подання студентом закінченої випускної кваліфікаційної роботи:
10.05.2026р.

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи:

1. Обладнання для автономного та резервного електрозабезпечення будинку
2. Гібридний інвертор, сонячні панелі та акумуляторні батареї LiFePO4
3. Засоби моніторингу, передавання параметрів електроживлення

4. Основні питання, які потрібно розробити:

1. Аналіз сучасних систем автономного електрозабезпечення будинку
2. Розроблення апаратної структури системи керування
електрозабезпеченням
3. Розроблення програмного комплексу моніторингу та керування

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

1. Структурна схема автоматизованої системи керування та моніторингу електрозабезпечення будинку
2. Схема підключення мікроконтролера ESP8266 до інвертора через MAX3232
3. Електрична схема системи електрозабезпечення будинку
4. Блок-схема алгоритму роботи автоматизованої системи

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Заставний О.М.		
2	Заставний О.М.		
3	Заставний О.М.		

7. Дата видачі завдання 01 грудня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасних систем автономного електрозабезпечення будинку	01.12.2025р. – 15.01.2026р.	
2	Розроблення апаратної структури системи керування електрозабезпеченням будинку	16.01.2026р. – 15.03.2026р.	
3	Розроблення програмного комплексу моніторингу та керування	16.03.2026р. – 30.04.2026р.	
4	Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату	1.05.2026 – 25.05.2026	

Студент

(підпис)

Рудавський В.Я.

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н., Заставний О.М.

АНОТАЦІЯ

Рудавський В.Я. Автоматизована система керування та моніторингу енергозабезпечення будинку. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 174 «Автоматизована система керування та моніторингу енергозабезпечення будинку», освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2026.

У кваліфікаційній роботі розглянуто систему моніторингу та керування електрозабезпеченням приватного будинку на базі гібридного інвертора, сонячних панелей, акумуляторних батарей LiFePO₄ та локального сервера Home Assistant. Основною метою роботи є забезпечення централізованого моніторингу параметрів системи електроживлення та підвищення зручності її експлуатації.

У роботі проведено аналіз існуючих рішень резервного та автономного електроживлення, обґрунтовано вибір обладнання та розроблено структуру системи збору даних. Для отримання інформації від інвертора використано мікроконтролер ESP8266, який взаємодіє з інвертором через інтерфейс RS232 та протокол Modbus RTU. Моніторинг параметрів акумуляторних батарей реалізовано за допомогою ESP32, який отримує дані від системи керування батареями через Bluetooth Low Energy.

Програмна частина системи побудована на базі ESPHome та Home Assistant. Розроблене рішення забезпечує збір, візуалізацію та аналіз параметрів роботи інвертора, акумуляторів і сонячних панелей, а також створює умови для подальшого розширення функціоналу шляхом додавання нових датчиків і засобів автоматизації.

Ключові слова: автоматизація, моніторинг електрозабезпечення, Home Assistant, ESPHome, ESP8266, ESP32, Modbus RTU, LiFePO₄, BMS, сонячні панелі, гібридний інвертор, Bluetooth Low Energy.

ANNOTATION

Rudavskyi V.Y Automated system of control and monitoring of the energy supply of the house. - Manuscript.

Research for obtaining the Bachelor's Degree in Specialty 174 " Automation, Computer-Integrated Technologies and Robotics", Educational and Professional Program – Automation and Computer-Integrated Technologies. West Ukrainian National University, Ternopil, 2026.

The qualification thesis considers a monitoring and control system for the power supply of a private house based on a hybrid inverter, solar panels, LiFePO₄ battery storage, and a local Home Assistant server. The main objective of the work is to provide centralized monitoring of the power system parameters and improve the convenience of its operation.

The thesis includes an analysis of existing backup and autonomous power supply solutions, justification of the selected hardware components, and the development of a data acquisition system architecture. An ESP8266 microcontroller is used to obtain data from the inverter via the RS232 interface and the Modbus RTU protocol. Monitoring of battery parameters is implemented using an ESP32 microcontroller, which receives data from the Battery Management System (BMS) through Bluetooth Low Energy.

The software part of the system is based on ESPHome and Home Assistant. The developed solution provides collection, visualization, and analysis of inverter, battery, and solar panel operating parameters, while also enabling further functional expansion through the integration of additional sensors and automation tools.

Keywords: automation, power supply monitoring, Home Assistant, ESPHome, ESP8266, ESP32, Modbus RTU, LiFePO₄, BMS, solar panels, hybrid inverter, Bluetooth Low Energy.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1.АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДИНКУ	11
1.1. Особливості сучасних систем автономного електроживлення	11
1.2. Аналіз джерел резервного електроживлення.....	13
1.3. Використання сонячних панелей у системах електрозабезпечення.....	15
1.4. Застосування акумуляторних батарей типу LiFePO ₄	17
1.5. Аналіз систем моніторингу та автоматизованого керування.....	19
1.6. Постановка задачі.....	21
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ АПАРАТНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ БУДИНКУ	23
2.1. Загальна структура автоматизованої системи	23
2.2. Вибір та обґрунтування компонентів системи	25
2.3. Опис роботи гібридного інвертора PowMr POW-HVM6.2K-48V	29
2.4. Підключення мікроконтролера ESP8266 до інвертора та обмін даними через RS232	33
2.5. Організація передавання даних через Wi-Fi та Bluetooth	36
2.6. Розроблення електричної схеми системи електрозабезпечення.....	38
2.7. Розрахунок енергоспоживання та аналіз режимів роботи системи.....	40
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ МОНІТОРИНГУ ТА КЕРУВАННЯ	44
3.1. Використання платформи Home Assistant для моніторингу системи	44
3.2. Реалізація збору та обробки даних	47
3.3. Розроблення алгоритму роботи автоматизованої системи	50
3.4. Візуалізація параметрів системи у веб-інтерфейсі	53
ВИСНОВКИ	57
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	59

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ			
Розроб	Рудавський В.				Автоматизована система керування та моніторингу енергозабезпечення будинку / Automated system of control and monitoring of the energy supply of the house.	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірів	Заставний О.							
Консульт	Заставний О.					ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-42/1		
Н.Контроль	Заставний О.							
Затвердив	Сегін А.І.							

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АКБ - акумуляторна батарея

АС - автоматизована система

БЖ - блок живлення

BMS - Battery Management System, система керування батареєю

ВА - вольт-ампер

ДБЖ - джерело безперебійного живлення

МК - мікроконтролер

СЕС - сонячна електростанція

ФЕМ - фотоелектричний модуль

АС - змінний струм

BLE - Bluetooth Low Energy

LiFePO₄ - літій-залізо-фосфатний акумулятор

Modbus RTU - протокол послідовного обміну даними

MPPT - алгоритм відстеження точки максимальної потужності

PV - photovoltaic, сонячний модуль

RS-232 - стандарт послідовного інтерфейсу передачі даних

SOC - State of Charge, рівень заряду акумуляторної батареї

UART - універсальний асинхронний приймач-передавач

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВСТУП

Актуальність теми. Стабільне електрозабезпечення приватного будинку зараз має набагато більше значення, ніж раніше. У будинку від електроенергії залежить не тільки освітлення, а й робота холодильника, насоса, котла, інтернету, системи безпеки, побутової техніки та іншого обладнання. Коли живлення зникає навіть на короткий час, це одразу створює незручності. А якщо відключення триває довше, можуть виникати вже серйозніші проблеми: розряджаються пристрої, зупиняється частина обладнання, зникає зв'язок, порушується нормальна робота будинку.

Через це звичайної залежності тільки від централізованої мережі вже часто недостатньо. Для приватного будинку більш практичним є варіант, коли є кілька джерел енергії: зовнішня мережа, сонячні панелі та акумуляторна батарея. Така система може працювати гнучкіше. У сонячний час будинок може використовувати енергію від панелей, у вечірній або нічний період - заряд акумуляторів, а мережа підключається вже тоді, коли власної енергії не вистачає.

У розроблюваній системі використовується саме такий підхід. Основним силовим елементом є гібридний інвертор, який працює з сонячними панелями, акумуляторами, мережею та навантаженням будинку.

Однак для нормальної роботи такої системи недостатньо просто встановити інвертор, акумулятори й сонячні панелі. Потрібно бачити, що відбувається з обладнанням у реальному часі: яка потужність надходить від сонячних панелей, який рівень заряду акумуляторів, яке навантаження підключене, чи є напруга в мережі, у якому режимі працює

Тому актуальним є створення єдиної системи моніторингу, яка збирає основні параметри з інвертора, акумуляторних батарей і лічильника та виводить їх в одному інтерфейсі.

У роботі для цього використовується Home Assistant, який працює на локальному Mini PC. Такий варіант зручний тим, що система може працювати в межах домашньої мережі, без повної залежності від хмарних сервісів.

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		8

Мета кваліфікаційної роботи. Розроблення автоматизованої системи керування та моніторингу електрозабезпечення приватного будинку на основі гібридного інвертора, сонячних панелей, акумуляторних батарей LiFePO₄, мікроконтролерів ESP8266 та ESP32, а також платформи Home Assistant.

Для досягнення цієї мети потрібно виконати такі завдання:

- проаналізувати сучасні системи автономного та резервного електрозабезпечення будинку;
- розглянути використання сонячних панелей і акумуляторних батарей LiFePO₄;
- обґрунтувати вибір основних компонентів системи;
- розробити апаратну структуру та електричну схему системи;
- описати роботу гібридного інвертора PowMr POW-HVM6.2K-48V;
- реалізувати зчитування параметрів інвертора через RS232 та Modbus RTU;
- організувати моніторинг акумуляторних батарей через BMS і Bluetooth Low Energy;
- налаштувати передавання даних у Home Assistant через Wi-Fi;
- розробити алгоритм роботи системи з урахуванням режиму SBU;
- виконати розрахунок енергоспоживання будинку та запасу енергії акумуляторної батареї;
- розглянути питання безпечної експлуатації обладнання.

Об’єкт дослідження. Система електрозабезпечення приватного будинку, до складу якої входять зовнішня мережа, сонячні панелі, гібридний інвертор, акумуляторні батареї, резервне джерело живлення та побутове навантаження.

Предмет дослідження. Процес збирання, передавання, обробки та відображення параметрів роботи системи електроживлення за допомогою мікроконтролерів, інтерфейсу RS232, протоколу Modbus RTU, Bluetooth Low Energy та Home Assistant.

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Методи дослідження. Під час виконання роботи використано системний аналіз для побудови загальної структури системи, порівняльний аналіз для вибору обладнання, а також розрахункові методи для оцінки споживання електроенергії та запасу енергії акумуляторної батареї. Для програмної частини застосовано ESPHome та Home Assistant. Обмін даними з інвертором виконується через Modbus RTU, а дані з BMS акумуляторів отримуються через Bluetooth Low Energy.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблена система дозволяє контролювати основні параметри електрозабезпечення будинку в одному інтерфейсі. Користувач може бачити стан інвертора, рівень заряду акумуляторів, сонячну генерацію, потужність навантаження, температуру обладнання та споживання електроенергії з мережі.

Таке рішення може використовуватись у приватних будинках, де встановлено гібридний інвертор, сонячні панелі та акумуляторну батарею. Воно спрощує щоденну експлуатацію системи, допомагає швидше виявляти несправності та краще оцінювати ефективність роботи сонячної генерації.

Напрямки подальшого розвитку. Надалі система буде розширюватись: будуть додані складніші сценарії автоматизації, автоматичне відключення другорядних навантажень при низькому заряді акумулятора, прогнозування сонячної генерації за погодою, детальнішу статистику споживання та сповіщення про аварійні режими. Також перспективним є гнучкіше керування заряджанням акумуляторів залежно від часу доби та тарифів на електроенергію.

Апробація. Н. Козубаль, В. Рудавський, Н. Возна Система автоматизованого керування електричними зарядними станціями для електромобілів. – Збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ - 2026), Тернопіль, 2026. – ст. 245-248.

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 1.АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДИНКУ

1.1. Особливості сучасних систем автономного електроживлення

У приватному будинку електроенергія потрібна не тільки для світла. Від неї працює холодильник, насос опалення, роутер, відеоспостереження, побутова техніка, зарядні пристрої та інше обладнання. Через це навіть коротке вимкнення мережі може створити незручності. Якщо живлення зникає надовго, проблема стає ще серйознішою, бо частина приладів просто перестає виконувати свої функції. Саме тому для житлового будинку все частіше розглядають резервне або автономне електроживлення.

Автономна система електроживлення - це не один пристрій, а кілька елементів, які працюють разом. Зазвичай до неї входять сонячні панелі, акумуляторні батареї, інвертор, захисні автомати, кабельні лінії, комутаційне обладнання та засоби контролю. Окремо кожен із цих елементів виконує свою задачу, але нормальний результат отримується тільки тоді, коли вони правильно підібрані між собою.

Найпростішим варіантом резервного живлення можна вважати генератор. Він справді може допомогти під час відключення електроенергії, особливо коли потрібно заживити потужні прилади. Але для щоденного використання в будинку це не завжди зручно. Генератор шумить, потребує пального, має вихлопні гази, а також потребує регулярного обслуговування. Крім того, його потрібно десь безпечно встановити. Тому генератор більше підходить як додаткове або аварійне джерело, а не як основа сучасної автоматизованої системи.

Інший варіант - акумуляторна батарея разом з інвертором. Така система працює тихо, не потребує пального і може автоматично вмикатися при зникненні напруги в мережі. Для приватного будинку це значно зручніше, бо користувачу не потрібно кожного разу вручну запускати обладнання. Але тут є інше обмеження - запас енергії в акумуляторах. Якщо навантаження велике, батарея

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		11

швидко розрядиться. Тому перед встановленням такої системи потрібно розуміти, які саме прилади будуть живитися від резерву і скільки часу вони мають працювати.

Останнім часом більш практичним рішенням стали гібридні системи. У них поєднується зовнішня мережа, сонячні панелі та акумуляторна батарея. Така схема зручна тим, що будинок не залежить лише від одного джерела. Вдень частину енергії можуть давати сонячні панелі. Якщо сонця недостатньо, використовується акумулятор. Якщо ж заряд батареї зменшується до встановленого рівня, тоді система може перейти на живлення від зовнішньої мережі.

У таких системах важливим є порядок використання джерел живлення. Наприклад, у режимі SBU пріоритет має сонячна енергія, після неї використовується акумуляторна батарея, а зовнішня мережа залишається останнім джерелом. Для будинку це досить логічний режим, бо спочатку використовується власна генерація, потім накопичена енергія, і лише після цього - електроенергія з мережі.

Також потрібно враховувати, що сонячні панелі працюють нерівномірно. Влітку вони можуть виробляти значно більше енергії, а взимку генерація падає через коротший день, хмарність і менший кут сонця. На роботу панелей впливає і затінення, і забруднення поверхні, і правильність монтажу. Через це сонячну генерацію краще розглядати не як єдине джерело, а як частину загальної системи разом з акумулятором і мережею.

Окреме значення має контроль параметрів. Користувачу важливо знати не просто факт наявності напруги, а й те, звідки зараз живиться будинок, який заряд акумулятора, яке навантаження підключене, чи є генерація від сонячних панелей і чи немає аварійного стану. Без такої інформації важко зрозуміти, чи система працює правильно і чи вистачить заряду батареї на потрібний час.

Тому сучасна система автономного електроживлення повинна мати не тільки силову частину, а й засоби моніторингу. Вони допомагають бачити стан обладнання, аналізувати споживання і швидше реагувати на проблеми.

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.2. Аналіз джерел резервного електроживлення

Найпростішим і досить поширеним джерелом резервного живлення є бензиновий або дизельний генератор. Його головна перевага полягає в тому, що він може забезпечувати електроенергією будинок тривалий час, якщо є запас палива.

Але для постійного використання в житловому будинку генератор не завжди зручний. Він шумить, потребує пального, має вихлопні гази і повинен встановлюватися у безпечному місці. Крім того, генератор треба обслуговувати: перевіряти масло, фільтри, запуск, стан палива. Якщо немає автоматичного вводу резерву, то при зникненні електроенергії користувач повинен запускати його вручну. Це не дуже зручно, особливо вночі або коли нікого немає вдома.

Ще одним варіантом є джерело безперебійного живлення. ДБЖ часто використовують для комп'ютерів, серверів, роутерів, камер відеоспостереження та іншої електроніки.

Більш практичним рішенням для будинку є акумуляторна батарея разом з інвертором. Така система працює тихо, не потребує пального і може автоматично перемикається на резервне живлення. Це зручно для житлового приміщення, бо користувач майже не втручається в роботу системи. Якщо мережа зникає, навантаження переходить на акумулятори. Коли напруга відновлюється, батарея знову заряджається.

Основне обмеження такого варіанта - запас енергії в акумуляторі. Якщо підключити багато потужних споживачів, батарея швидко розрядиться. Тому для акумуляторної системи важливо правильно визначити, які саме лінії будинку будуть резервними.

Сонячні панелі також можуть бути джерелом енергії для будинку. Їх перевага в тому, що вони виробляють електроенергію без пального. У денний час панелі можуть частково покривати споживання будинку або заряджати акумулятори. Це особливо корисно в системах, де потрібно зменшити залежність від зовнішньої мережі.

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Проте сонячні панелі не можна вважати повністю стабільним джерелом резервного живлення. Вони залежать від погоди, пори року, хмарності, затінення та часу доби. Вночі генерації немає, а взимку вона може бути значно меншою, ніж у літній період. Тому сонячні панелі найкраще працюють не самостійно, а разом з акумуляторами та інвертором.

Найбільш збалансованим варіантом для приватного будинку є гібридна система. Вона поєднує зовнішню електромережу, сонячні панелі та акумуляторну батарею.

У даній роботі розглядається саме такий підхід. Система працює в режимі SBU, тобто Solar - Battery - Utility. Спочатку використовується енергія сонячних панелей, потім акумуляторна батарея, і лише після цього зовнішня мережа. Такий порядок є досить логічним для будинку, де встановлено сонячні панелі та акумулятори. Він дозволяє спочатку використовувати власну генерацію, потім накопичену енергію, а електромережу залишати як останній резерв.

Таблиця 1.1. Порівняння джерел резервного електроживлення

Джерело живлення	Переваги	Недоліки	Доцільність використання
Бензиновий генератор	Відносно доступний, може живити потужні прилади, працює за наявності палива	Шум, вихлопні гази, витрати на пальне, ручний запуск.	Підходить як аварійне або допоміжне джерело живлення
Дизельний генератор	Краще підходить для тривалої роботи, може працювати з більшими навантаженнями	Дорожчий, шумний, потребує окремого місця для встановлення та регулярного обслуговування	Доцільний для тривалого резервного живлення
Джерело безперебійного живлення	Швидко перемикається на батарею, добре підходить для електроніки	Невелика автономність, обмежена потужність	Доцільне для живлення роутера, комп'ютера, серверів та систем відеоспостереження
Акумуляторна система з інвертором	Безшумна робота, автоматичне перемикавання, не потребує пального	Час роботи залежить від ємності акумуляторної батареї та величини навантаження	Добрий варіант для резервного живлення важливих ліній будинку

Продовження таблиці 1.1.

Джерело живлення	Переваги	Недоліки	Доцільність використання
Сонячні панелі	Виробляють електроенергію без використання пального, зменшують залежність від зовнішньої мережі	Залежать від погодних умов, не виробляють електроенергію вночі	Ефективні у складі системи з акумуляторною батареєю та інвертором
Гібридна система	Поеднує зовнішню мережу, сонячні панелі та акумуляторні батареї, може працювати автоматично	Має складнішу структуру, потребує правильного підбору обладнання та налаштування	Найбільш доцільний варіант для сучасного приватного будинку

1.3. Використання сонячних панелей у системах електрозабезпечення

Сонячні панелі є одним із найбільш зручних джерел енергії для приватного будинку, якщо їх використовувати не окремо, а в складі загальної системи електрозабезпечення. Вони дають змогу отримувати частину електроенергії без використання палива і без постійного втручання користувача. Після правильного монтажу панелі працюють автоматично: вдень вони виробляють електроенергію, яка може використовуватись для живлення навантаження або заряджання акумуляторних батарей.

Принцип роботи сонячної панелі базується на перетворенні сонячного випромінювання в електричну енергію. Коли світло потрапляє на фотоелектричні елементи, на виході панелі з'являється постійна напруга. Далі ця енергія передається до інвертора або контролера заряду. У побутовій системі така енергія не використовується напряму більшістю приладів, тому потрібне перетворення постійної напруги в змінну напругу 220 В.

Разом з тим сонячні панелі не можна вважати повністю стабільним джерелом живлення. Їхня потужність залежить від погоди, пори року, часу доби, кута нахилу, орієнтації та затінення. Наприклад, влітку генерація може бути високою, а взимку вона помітно зменшується через короткий світловий день і

часту хмарність. Також навіть невелике затінення частини панелей може впливати на загальну продуктивність системи.

Через це сонячні панелі найкраще працюють саме разом з акумуляторами. Якщо вдень є надлишкова генерація, вона може йти на заряд батареї. Потім ця енергія використовується ввечері, вночі або під час зникнення зовнішньої мережі. Без акумулятора сонячна система була б менш зручною, бо вироблена енергія не завжди збігається з реальним споживанням будинку.

Важливим параметром сонячної панелі є її номінальна потужність. Вона показує, яку потужність панель може видати за стандартних умов випробування. Але в реальній експлуатації значення часто буде нижчим. На це впливають температура, освітленість, втрати в кабелях, інверторі, контролері заряду та інші фактори.

Під час вибору сонячних панелей для системи електрозабезпечення важливо звертати увагу не тільки на потужність одного модуля. Потрібно також враховувати напругу холостого ходу, робочу напругу, струм, кількість панелей у послідовному ланцюгу та допустимі параметри входу інвертора. Якщо неправильно підібрати кількість панелей, можна перевищити допустиму вхідну напругу або отримати занадто низьку напругу для нормальної роботи MPPT-контролера.



Рисунок 1.1. Приклад сонячних панелей на будинку

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		16

1.4. Застосування акумуляторних батарей типу LiFePO₄

Акумуляторна батарея в системі автономного електроживлення потрібна не тільки для того, щоб мати резерв під час відключення світла. У гібридній системі її роль трохи ширша. Вона накопичує енергію тоді, коли вона є, і віддає її тоді, коли сонячної генерації вже не вистачає або коли потрібно менше використовувати зовнішню мережу.

Сонячні панелі працюють нерівномірно. У ясний день вони можуть давати достатньо енергії, а в похмуру погоду їхня потужність помітно падає. Вночі генерації взагалі немає. Через це без акумулятора сонячна система була б не такою зручною: енергія вироблялася б тільки в певний час, а використати її пізніше було б неможливо. Саме акумулятор дозволяє частково вирішити цю проблему.

Таблиця 1.2. Порівняння основних типів акумуляторних батарей

Тип акумулятора	Переваги	Недоліки	Де краще використовувати
Свинцево-кислотний	Недорогий, простий, доступний	Важкий, не любить глибокий розряд, менший ресурс	Прості резервні системи
AGM	Не потребує доливання електроліту	Обмежений ресурс при частих циклах	Роутери, комп'ютери, невеликі ДБЖ
GEL	Краще переносить розряд, ніж звичайний свинцевий	Дорожчий, чутливий до режиму заряджання	Невеликі резервні системи
LiFePO ₄	Висока енергоємність, менша маса	Потребує якісного захисту	Компактні системи

У невеликих резервних системах часто використовують свинцево-кислотні акумулятори, AGM або GEL. Такі батареї можна зустріти в ДБЖ, охоронних системах, резервному живленні роутерів або комп'ютерів. Для таких задач вони підходять, бо навантаження невелике, а час роботи зазвичай не дуже довгий. Але для живлення частини будинку вимоги до акумулятора вже інші.

Свинцеві батареї мають невисоку ціну, але в них є кілька мінусів. Вони важкі, займають багато місця і погано переносять часті глибокі розряди. Якщо таку батарею регулярно розряджати майже до мінімуму, її ємність з часом швидко зменшується.

Для гібридних систем краще підходять акумулятори типу LiFePO₄. Це літій- залізо- фосфатні батареї. Їхня перевага в тому, що вони краще переносять цикли заряджання і розряджання. У системі з сонячними панелями це важливо, бо акумулятор може заряджатися вдень, а ввечері або вночі віддавати енергію на навантаження.

Але LiFePO₄ акумулятор не можна просто підключити і залишити без контролю. Для нього потрібна BMS - система керування батареєю. Вона стежить за напругою комірок, температурою, струмом заряджання та розряджання. Якщо якийсь параметр виходить за безпечні межі, BMS може обмежити роботу батареї або повністю її відключити.

Це особливо важливо через те, що акумулятор складається з окремих комірок. Вони можуть заряджатися не зовсім однаково. Якщо одна комірка має більшу напругу, а інша меншу, це впливає на всю батарею. Тому балансування комірок є важливою частиною роботи BMS, а не просто додатковою функцією.

При виборі акумуляторного блока важливо враховувати не тільки його ємність. Має значення і місце встановлення. Батарею краще розміщувати в сухому приміщенні, де немає перегріву, вологи та ризику механічного пошкодження. Також небажані дуже низькі температури, бо вони можуть обмежувати заряджання.

Для нормальної роботи потрібен і моніторинг. Одного відсотка заряду недостатньо, бо він не завжди показує реальний стан батареї. Краще бачити загальну напругу, температуру, струм заряджання або розряджання, напругу окремих комірок і стан балансування. Так простіше зрозуміти, як акумулятор поводить себе під реальним навантаженням.

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		18

1.5. Аналіз систем моніторингу та автоматизованого керування

У системі автономного електроживлення важливо не тільки мати інвертор, акумулятори та сонячні панелі. Потрібно ще розуміти, як усе це працює в реальному часі. Можна знати, що світло в будинку є, але не знати, звідки зараз береться енергія, який заряд акумуляторів, чи є генерація від сонячних панелей і чи немає перевантаження.

Найпростіший спосіб контролю - це перегляд інформації на дисплеї інвертора. Більшість сучасних інверторів показують напругу мережі, напругу акумулятора, навантаження, режим роботи, помилки або попередження. Для базової перевірки цього достатньо. Але такий спосіб не дуже зручний у щоденному використанні. Інвертор часто встановлюють у технічному приміщенні, підвалі, гаражі або біля акумуляторного блока. Постійно підходити до нього, щоб перевірити стан системи, незручно.

Крім того, дисплей інвертора зазвичай показує тільки поточні значення. Він не дає нормальної історії роботи.

Саме тому в сучасних системах електроживлення використовують окремі засоби моніторингу. Вони збирають дані з обладнання і передають їх у програмне середовище, де користувач може бачити стан системи на комп'ютері або смартфоні. Це зручніше, бо всі основні параметри зібрані в одному місці. Також з'являється можливість переглядати графіки, історію, повідомлення про помилки і зміну режимів роботи.

Для систем електрозабезпечення будинку найбільш корисними є такі параметри: напруга зовнішньої мережі, потужність навантаження, напруга акумулятора, рівень заряду, потужність сонячних панелей, температура інвертора, температура акумуляторів, стан заряджання або розряджання, а також поточний режим роботи. Якщо ці дані доступні в одному інтерфейсі, користувач може швидше зрозуміти, що відбувається із системою.

Для побудови моніторингу можуть використовуватись різні способи передавання даних. Якщо обладнання має комунікаційний порт, то параметри

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

можна зчитувати через RS232, RS485 або Modbus. Для акумуляторних батарей часто використовується зв'язок з BMS. Деякі BMS передають дані через Bluetooth, інші - через UART або CAN. Також у домашніх системах часто використовують Wi-Fi, бо це простий спосіб передати дані на локальний сервер без прокладання додаткових кабелів.

Окреме значення має програмна платформа, у якій ці дані будуть відображатися. Для домашніх систем часто використовують рішення типу Home Assistant. Така платформа зручна тим, що може об'єднувати різні пристрої в одному інтерфейсі. Наприклад, можна одночасно бачити дані з інвертора, акумуляторних BMS, датчиків температури, реле, лічильників або інших модулів. Для користувача це виглядає як єдина система, хоча фактично дані можуть надходити з різних пристроїв.

Ще одна перевага локального моніторингу полягає в тому, що основна інформація зберігається всередині домашньої мережі. Це зручно, бо система не повністю залежить від сторонніх хмарних сервісів. Навіть якщо немає доступу до інтернету, локальний сервер може продовжувати збирати дані й показувати їх у межах домашньої мережі. Для автономного електроживлення це важливо, бо така система якраз повинна залишатися працездатною у нестандартних ситуаціях.

Дисплей інвертора підходить для швидкої перевірки, але не для повного аналізу. BMS показує стан акумуляторів, але не дає повної картини по всій системі. Лічильник електроенергії показує споживання, але не пояснює, звідки саме надходить енергія.

У розроблюваній системі такий підхід є основним. Дані з інвертора, акумуляторних батарей та інших елементів передаються до системи моніторингу, де їх можна переглядати у зручному вигляді. Це дає змогу бачити не тільки поточний стан, а й загальну логіку роботи електрозабезпечення будинку. Наприклад, можна оцінити, коли система працювала від сонячних панелей, коли використовувала акумулятор, і в який момент переходила на зовнішню мережу.

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		20

1.6. Постановка задачі

Після аналізу джерел резервного електроживлення видно, що для приватного будинку простого резерву вже часто недостатньо. Якщо система вмикається тільки тоді, коли зникає напруга в мережі, то вона вирішує лише одну задачу - не залишити будинок без електроенергії. Але гібридна система може працювати ширше. Вона здатна не тільки підстраховувати будинок під час відключень, а й щоденно зменшувати споживання електроенергії із зовнішньої мережі.

У розглянутій системі основний інтерес становить режим SBU - Solar Battery Utility. Його особливість у тому, що зовнішня мережа не використовується як перше джерело живлення. Спочатку система намагається живити будинок від сонячних панелей. Якщо сонячної енергії не вистачає, підключається акумуляторна батарея. І тільки тоді, коли заряд АКБ знижується до встановленого рівня, система переходить на живлення від мережі. Тобто навіть при наявності електроенергії в мережі будинок може працювати від сонця або акумуляторів.

Такий підхід має практичний сенс. У денний час сонячні панелі можуть покривати частину навантаження будинку, а також заряджати акумулятор. Після зменшення генерації батарея може ще певний час підтримувати роботу споживачів. За рахунок цього електроенергія із зовнішньої мережі використовується менше. У результаті система виконує не тільки резервну функцію, а й допомагає економити кошти на електроенергії.

Разом з тим така система потребує постійного контролю. Користувачу важливо бачити, яке джерело живлення використовується в конкретний момент, який рівень заряду акумуляторів, яка потужність навантаження, скільки енергії надходить від сонячних панелей і коли система переходить на мережу.

Тому задача кваліфікаційної роботи полягає в розробленні автоматизованої системи керування та моніторингу електрозабезпечення будинку, яка дає змогу контролювати роботу гібридної системи в режимі SBU.

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21

Система повинна об'єднувати дані з інвертора, акумуляторних батарей і сонячної генерації, а також передавати їх у зручне середовище для перегляду та подальшого аналізу.

У межах роботи необхідно передбачити контроль таких параметрів:

- режим роботи системи електроживлення;
- наявність і параметри зовнішньої мережі;
- потужність навантаження будинку;
- напруга та рівень заряду акумуляторної батареї;
- стан заряджання і розряджання АКБ;
- параметри сонячної генерації;
- температуру інвертора та акумуляторних батарей;
- аварійні або попереджувальні стани обладнання.

Для виконання поставленої задачі потрібно розробити апаратну частину системи, яка забезпечить зв'язок з основним обладнанням. Зокрема, необхідно організувати зчитування параметрів гібридного інвертора, отримання даних з BMS акумуляторів та передавання цієї інформації до системи моніторингу.

Також потрібно виконати розрахунок споживання будинку та параметрів автономної системи. Це потрібно для того, щоб оцінити, які навантаження можуть працювати від акумуляторів, скільки часу система може підтримувати живлення без мережі та яку роль у цьому відіграють сонячні панелі. Без таких розрахунків система буде описана неповно, бо автономність залежить не тільки від обладнання, а й від реального споживання.

У результаті має бути розроблена система, яка не просто показує окремі параметри, а дає загальне розуміння роботи електрозабезпечення будинку. Користувач повинен бачити, коли будинок живиться від сонця, коли використовується акумулятор, коли підключається мережа і як змінюється заряд батареї під навантаженням. Це дозволяє краще оцінювати ефективність режиму SBU та за потреби змінювати налаштування системи.

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		22

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ АПАРАТНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ БУДИНКУ

2.1. Загальна структура автоматизованої системи

Автоматизована система керування та моніторингу електрозабезпечення будинку побудована як поєднання силової частини та інформаційної частини. Силова частина відповідає за живлення будинку від різних джерел енергії, а інформаційна - за збирання параметрів, передавання даних і відображення стану системи для користувача.

До силової частини входять сонячні панелі, гібридний інвертор, акумуляторна батарея LiFePO₄, зовнішня електромережа та навантаження будинку. Основним вузлом тут є гібридний інвертор PowMr POW-HVM6.2K-48V. Через нього проходить робота з сонячними панелями, акумуляторами та мережею. Інвертор перетворює постійну напругу від АКБ або сонячних панелей у змінну напругу, яка вже використовується для живлення побутових споживачів.

У розроблюваній системі використовується режим роботи SBU - Solar Battery Utility. Це означає, що першим джерелом живлення є сонячні панелі. Якщо сонячної генерації не вистачає, система переходить на акумуляторну батарею. Зовнішня мережа використовується вже після того, як заряд акумуляторів знижується до заданого рівня. Такий режим зручний тим, що будинок може працювати від сонця або АКБ навіть тоді, коли електроенергія в мережі є. За рахунок цього зменшується споживання електроенергії з мережі.

Акумуляторна частина системи побудована на LiFePO₄ батареях 48 В. Для контролю їхнього стану використовуються BMS-модулі. Вони дають інформацію про заряд, напругу, температуру, стан заряджання, розряджання та балансування комірок. Це важливо, бо акумулятор у режимі SBU працює не тільки як аварійний резерв, а як активне джерело живлення.

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

Окрема частина системи відповідає за моніторинг інвертора. Для цього використовується мікроконтролер ESP8266 D1 mini. Він підключається до інвертора через модуль MAX3232, який узгоджує рівні сигналів між інтерфейсом RS232 інвертора та UART мікроконтролера. Через це ESP8266 може отримувати параметри роботи інвертора і передавати їх далі в систему моніторингу.

Для живлення мікроконтролера та модуля перетворення сигналів використовується DC-DC перетворювач. Він знижує вхідну напругу до рівня, потрібного для роботи електронних модулів. Це дає можливість жити вузол зв'язку стабільно і не використовувати окремий блок живлення для ESP8266.

Моніторинг акумуляторних батарей реалізований через ESP32 DevKit V1. Цей мікроконтролер підтримує Bluetooth Low Energy, тому може отримувати дані з BMS без дротового підключення. У розроблюваній системі це зручно, бо кілька BMS можуть передавати свої параметри на ESP32, а вже він передає ці дані в Home Assistant через Wi-Fi.

Центральним елементом інформаційної частини є сервер Home Assistant. Він працює на локальному Mini PC BEBERC. На сервер надходять дані від ESP8266 та ESP32. Після цього вони відображаються у веб-інтерфейсі, можуть зберігатися в історії та використовуватися для побудови графіків або сповіщень. Такий підхід зручний тим, що користувач бачить основні параметри системи в одному місці, а не окремо на дисплеї інвертора чи в різних додатках.

Передавання даних у системі відбувається через кілька каналів. Інвертор передає параметри через RS232. ESP8266 і ESP32 підключаються до локальної мережі через Wi-Fi. Дані з BMS надходять на ESP32 через Bluetooth Low Energy. Користувач може переглядати стан системи через веб-інтерфейс або мобільний додаток Home Assistant.

На рисунку 2.1 видно, що система складається з двох основних частин. Перша частина пов'язана з електроживленням будинку: сонячні панелі, інвертор, акумуляторна батарея, мережа та навантаження. Друга частина відповідає за отримання і передавання даних: мікроконтролери, модулі зв'язку, Wi-Fi роутер, сервер Home Assistant і користувацький інтерфейс

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		24

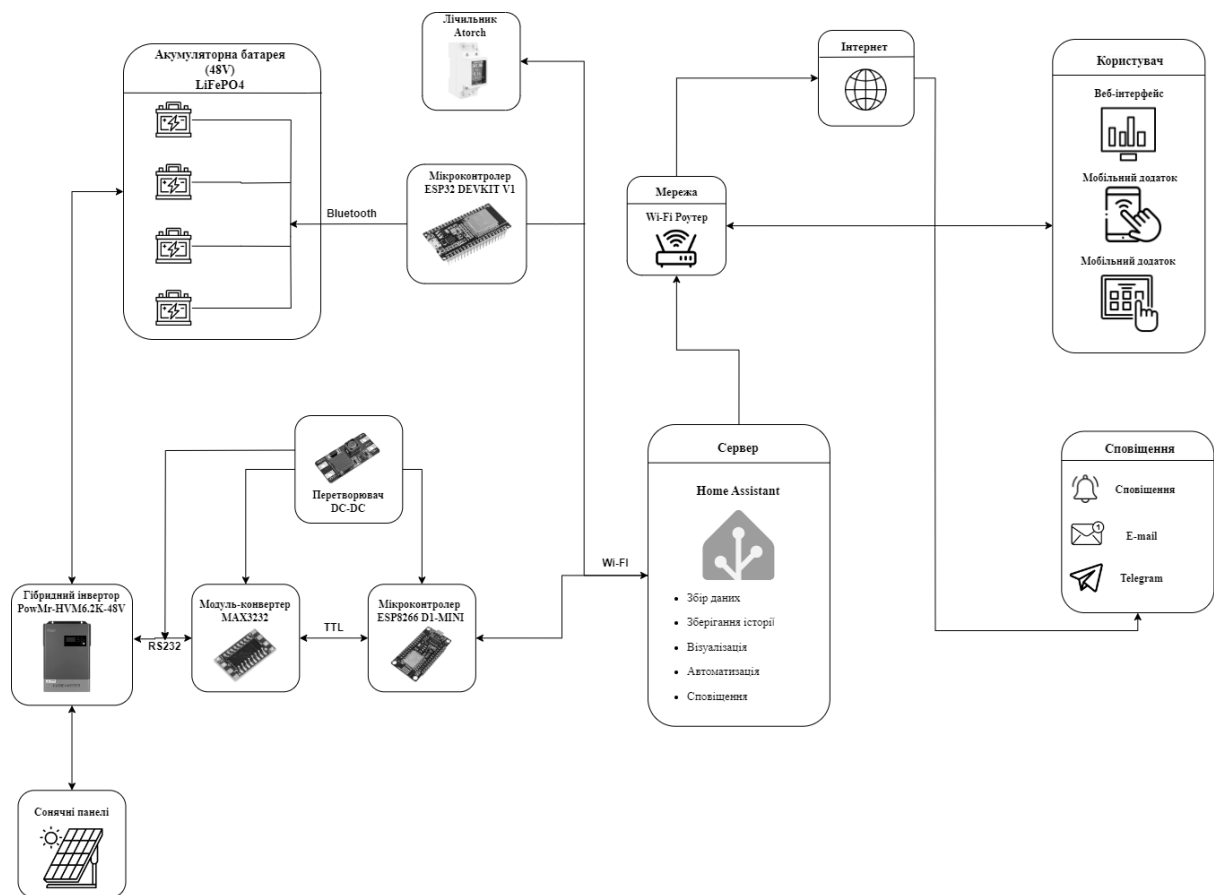


Рисунок 2.1 - Загальна структурна схема автоматизованої системи керування та моніторингу електрозабезпечення будинку

Така структура дозволяє не тільки забезпечувати живлення будинку від різних джерел, а й контролювати роботу всієї системи. Користувач може бачити, коли будинок живиться від сонця, коли використовується акумулятор, який рівень заряду АКБ, яка потужність навантаження та чи немає аварійних станів. Це робить систему більш зрозумілою в експлуатації і дає можливість надалі розширювати її функції.

2.2. Вибір та обґрунтування компонентів системи

Під час вибору компонентів для системи електрозабезпечення будинку потрібно було врахувати не тільки окремі характеристики кожного пристрою. Важливо, щоб усі елементи могли працювати разом: інвертор із сонячними панелями та акумуляторами, мікроконтролери з інвертором і BMS, а сервер

моніторингу - з усіма вузлами збору даних. Через це компоненти підбирались не як окремі пристрої, а як частини однієї системи.

Основою силової частини є гібридний інвертор PowMr POW-HVM6.2K-48V. Він вибраний тому, що може працювати з акумуляторною батареєю 48 В, сонячними панелями та зовнішньою мережею. Для розроблюваної системи це важливо, бо живлення будинку має виконуватись не тільки від мережі, а й від власної сонячної генерації та акумуляторів.

Для отримання електроенергії від сонця використовуються панелі Sunpro TOPCon Bifacial 620–635 Вт. Їх вибір пов'язаний з високою потужністю одного модуля та добрими електричними характеристиками. За документацією виробника, такі панелі мають ефективність до 23,51 %, виконані на N-type mono-crystalline елементах і можуть працювати в діапазоні температур від -40 до +85 °С. Це підходить для системи, яка має працювати протягом року, а не тільки в літній період.

Акумуляторна частина побудована на батареях LiFePO4. Такий тип акумуляторів краще підходить для гібридної системи, ніж звичайні свинцеві батареї, бо нормально переносить часті цикли заряджання і розряджання. У режимі SBU акумулятор використовується досить активно: він приймає енергію від сонячних панелей і живить навантаження, коли сонячної генерації вже не вистачає. Тому для такої роботи важливі ресурс, стабільність напруги і наявність нормального контролю стану батареї.

Для захисту та контролю акумуляторів застосовуються JBD BMS. Вони стежать за напругою комірок, температурою, рівнем заряду, заряджанням, розряджанням і балансуванням.

Для зв'язку з інвертором використовується ESP8266 D1 mini. Цей мікроконтролер вибраний через простоту, наявність Wi-Fi і підтримку ESPHome. Його задача - не керувати силовою частиною напрямку, а отримувати дані з інвертора і передавати їх у Home Assistant.

Між ESP8266 та інвертором встановлюється модуль MAX3232. Він потрібний через різницю рівнів сигналів. Інвертор має інтерфейс RS232, а

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		26

ESP8266 працює з UART-рівнями. Якщо підключити їх напругу, зв'язок може працювати неправильно або можна пошкодити мікроконтролер. Тому MAX3232 виконує роль перетворювача між RS232 і TTL/UART.

Для отримання даних з акумуляторних BMS використовується ESP32 DevKit V1. На відміну від ESP8266, цей мікроконтролер має Bluetooth Low Energy. Це дозволяє зчитувати параметри з BMS без окремого дротового підключення. Після цього ESP32 передає отримані дані в Home Assistant через Wi-Fi.

Для живлення низьковольтних модулів застосовується DC-DC Buck Converter. Він знижує напругу до рівня, потрібного для роботи електроніки. Це зручно, бо ESP8266, ESP32 та допоміжні модулі не можуть напругу живитися від силової частини системи. Для них потрібне стабільне низьковольтне живлення.

Окремо в системі може використовуватись Wi-Fi лічильник Atorch. Він дає можливість контролювати напругу, струм, потужність і спожиту електроенергію. Такий елемент корисний для перевірки реального навантаження будинку і для порівняння споживання в різних режимах роботи.

Серверна частина реалізована на Mini PC BEBERC, на якому працює Home Assistant. Вибір Mini PC пояснюється тим, що Home Assistant має працювати постійно, а не запускатися тільки час від часу. Локальний сервер дозволяє збирати дані, показувати їх у веб-інтерфейсі, зберігати історію і надалі створювати автоматизації.

Основні компоненти системи наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Основні компоненти автоматизованої системи електрозабезпечення будинку

Компонент	Модель / тип	Основні параметри	Призначення
Гібридний інвертор	PowMr POW-HVM6.2K-48V	Робота з АКБ 48 В, PV, мережею та навантаженням	Керування джерелами живлення будинку
Сонячні панелі	Sunpro TOPCon Bifacial	620–635 Вт	Генерація електроенергії від сонця

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Продовження таблиці 2.1

Компонент	Модель / тип	Основні параметри	Призначення
Акумуляторні батареї	LiFePO4	48 В	Накопичення енергії та живлення будинку від АКБ
BMS	JBD BMS	Контроль комірок, SOC, температури, балансування	Захист і моніторинг акумуляторів
Мікроконтролер для інвертора	ESP8266 D1 mini	Wi-Fi, UART	Зчитування параметрів інвертора
Перетворювач інтерфейсу	MAX3232	RS232-TTL/UART	Узгодження сигналів між інвертором і ESP8266
Мікроконтролер для BMS	ESP32 DevKit V1	Wi-Fi, Bluetooth Low Energy	Отримання даних з BMS акумуляторів
Перетворювач живлення	DC-DC Buck Converter	Зниження напруги	Живлення низьковольтних модулів
Лічильник параметрів	Atorch Gr2pws	Напруга, струм, потужність, енергія	Контроль споживання та параметрів мережі
Сервер моніторингу	Mini PC BEBEP	Робота з Home Assistant	Збір, збереження і відображення даних
Програмна платформа	Home Assistant	Веб-інтерфейс, історія, автоматизації	Моніторинг і керування системою
Середовище налаштування	ESPHome	Конфігурація ESP8266 та ESP32	Передавання даних у Home Assistant

На рисунку 2.2 наведені основні компоненти вибрані для побудови даної автоматизованої системи

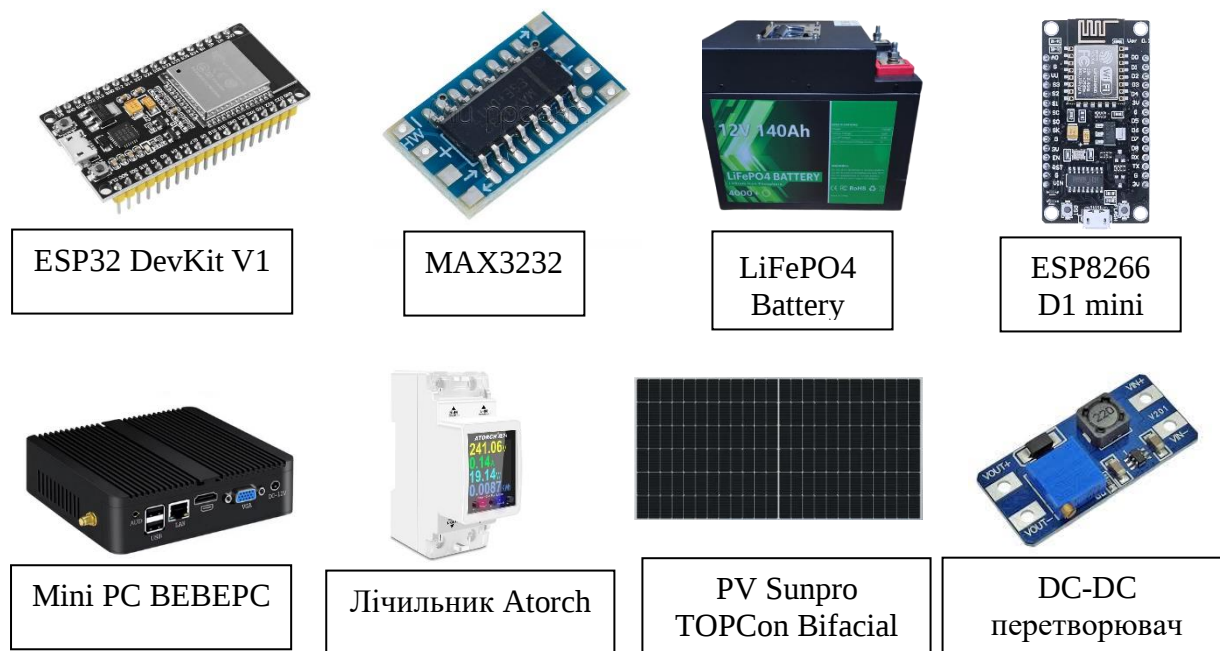


Рисунок 2.2 - Основні компоненти автоматизованої системи електрозабезпечення будинку

2.3. Опис роботи гібридного інвертора PowMr POW-HVM6.2K-48V

Гібридний інвертор PowMr POW-HVM6.2K-48V є одним з головних елементів системи електрозабезпечення будинку. До нього підходить кілька джерел енергії: сонячні панелі, акумуляторна батарея і зовнішня мережа. Вже від інвертора живлення подається на навантаження будинку. Тобто цей пристрій не просто перетворює напругу, а фактично зв'язує між собою всі основні частини системи.

Звичайний інвертор зазвичай виконує одну основну задачу - перетворює постійну напругу в змінну. У випадку гібридного інвертора функцій більше. Він може працювати з акумулятором, приймати енергію від сонячних панелей, заряджати батарею і перемикає джерела живлення залежно від налаштувань. Завдяки цьому система не потребує окремого контролера заряду для сонячних панелей, бо ця частина вже вбудована в інвертор.



Рисунок 2.3 - Зовнішній вигляд гібридного інвертора PowMr POW-HVM6.2K-48V

У побутовій мережі більшість приладів працює від змінної напруги 220 В. Сонячні панелі та акумулятори, навпаки, працюють із постійною напругою.

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Тому без інвертора цю енергію не можна було б напряму подати на звичайні споживачі.

Окремо потрібно враховувати заряджання акумуляторної батареї. У такій системі батарея не просто стоїть як запас на випадок відключення. Вона постійно бере участь у роботі. Удень вона може заряджатися від сонячних панелей, а ввечері або при недостатній генерації - віддавати енергію на навантаження. Якщо власної енергії не вистачає, інвертор може використати зовнішню мережу.

Для розроблюваної системи важливим є режим SBU, тобто Solar - Battery - Utility. Логіка цього режиму проста: спочатку використовується сонячна енергія, потім акумулятор, і тільки після цього зовнішня мережа. Це означає, що при наявності світла в мережі будинок не обов'язково одразу бере електроенергію саме з неї. Якщо є сонце або заряджена батарея, система може працювати від власної енергії.

Такий режим має практичний сенс. Наприклад, вдень сонячні панелі можуть частково або повністю покривати споживання будинку. Якщо потужності панелей недостатньо, навантаження підтримує акумулятор. Коли заряд батареї вже низький, тоді підключається мережа. За рахунок цього зменшується споживання електроенергії від постачальника, а акумулятор і сонячні панелі використовуються не тільки під час аварійних відключень.

Важливою частиною інвертора є MPPT-контролер. Він потрібний для роботи з сонячними панелями. Потужність панелей протягом дня постійно змінюється. Зранку генерація невелика, вдень вона зростає, а ввечері знову падає. Також сильно впливають хмари, затінення і температура.

При підключенні панелей до інвертора потрібно правильно підібрати їх кількість у ланцюгу. Тут важлива не тільки потужність панелі, а й напруга холостого ходу, робоча напруга та струм. Якщо панелей буде замало, напруга може бути недостатньою для нормальної роботи сонячного входу. Якщо панелей буде забагато, можна перевищити допустиму напругу PV-входу.

Інвертор може працювати в кількох режимах. При запуску він переходить у початковий режим, після чого вже працює залежно від стану мережі, сонячної

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		30

генерації, акумулятора і навантаження. Якщо живлення йде від зовнішньої мережі, це один режим роботи. Якщо будинок живиться від акумулятора або сонячних панелей без використання мережі - це вже автономний режим. Також є режим заряджання, режим обходу мережі та аварійний режим.

Основні параметри інвертора наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Основні параметри гібридного інвертора PowMr POW-HVM6.2K-48V

Параметр	Значення / опис
Тип пристрою	Гібридний інвертор із зарядним пристроєм та MPPT-контролером
Номінальна потужність	6200 Вт
Напруга акумуляторної батареї	48 В
Тип вихідної напруги	Чиста синусоїда
Джерела енергії	Сонячні панелі, акумуляторна батарея, зовнішня мережа
Максимальна потужність PV-масиву	8500 Вт
Максимальна напруга PV-входу	500 В DC
Діапазон роботи MPPT	60–500 В DC
Максимальний струм заряджання	120 А
Комунікаційні інтерфейси	RS232, RS485
Основні захисти	Захист від перевантаження, перегріву та короткого замикання

На передній панелі інвертора є дисплей, кнопки керування та світлові індикатори. Через дисплей можна швидко перевірити основні параметри: напругу мережі, напругу батареї, роботу сонячного входу, навантаження, помилки та поточний стан пристрою. Це зручно при первинному налаштуванні або швидкій перевірці, хоча для постійного контролю зручніше використовувати систему моніторингу.

Інвертор також має захисні функції. Це важливо, бо в системі є високі струми, акумулятори, сонячні панелі та підключене навантаження будинку. При

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		31

перевантаженні, перегріві або короткому замиканні пристрій може перейти в захисний режим. Така поведінка потрібна для того, щоб не допустити пошкодження самого інвертора і підключеного обладнання.

Гібридний інвертор може працювати в кількох режимах. Це потрібно для того, щоб система могла нормально реагувати на різні умови: наявність сонячної генерації, стан акумуляторів, навантаження будинку та наявність зовнішньої мережі. Для користувача ці режими важливі тим, що вони показують, звідки саме в даний момент живиться будинок і що відбувається з акумулятором.

Таблиця 2.3 - Основні режими роботи гібридного інвертора PowMr POW-HVM6.2K-48V

Режим роботи	Опис режиму	Значення для системи
Power On Mode	Початковий режим після увімкнення інвертора	Пристрій запускається і переходить до подальшої роботи
Standby mode	Інвертор увімкнений, але не працює з навантаженням у повному режимі	Використовується як режим очікування
Mains mode	Навантаження живиться від зовнішньої мережі	Застосовується, коли заряд АКБ низький або система перейшла на мережу
Off-Grid mode	Будинок живиться без використання зовнішньої мережі	Основний режим автономної роботи від сонця або акумулятора
Bypass mode	Живлення навантаження проходить від мережі в обхід інверторного перетворення	Може використовуватись при певних умовах або перевантаженні
Charging mode	Виконується заряджання акумуляторної батареї	АКБ заряджається від сонячних панелей або від мережі
Fault mode	Інвертор перейшов в аварійний стан	Потрібна перевірка причини помилки

У звичайній роботі інвертор може використовувати зовнішню мережу, сонячні панелі або акумуляторну батарею. Також він може переходити в режим

заряджання, очікування або аварійний режим. Кожен із цих режимів має своє призначення.

Підключення інвертора виконується через кілька основних клем і портів. До нього підключається акумуляторна батарея, сонячні панелі, вхід зовнішньої мережі та вихід на навантаження

2.4. Підключення мікроконтролера ESP8266 до інвертора та обмін даними через RS232

Для передавання параметрів інвертора в систему моніторингу використовується мікроконтролер ESP8266 D1 mini. Його задача полягає не в керуванні силовою частиною, а в зчитуванні даних з інвертора і передаванні їх у Home Assistant через Wi-Fi. Таке рішення є зручним, бо ESP8266 має невеликі розміри, низьке споживання енергії та добре підтримується в ESPHome.

Інвертор PowMr POW-HVM6.2K-48V має інтерфейс зв'язку RS232. Напрямку підключити його до ESP8266 не можна, оскільки ESP8266 працює з логічними рівнями 3,3 В, а RS232 має інші рівні сигналів. Через це між інвертором і мікроконтролером використовується модуль MAX3232. Він виконує перетворення сигналів RS232 у TTL/UART-рівні, з якими може працювати ESP8266.

Схема підключення мікроконтролера до інвертора наведена на рисунку 2.4.

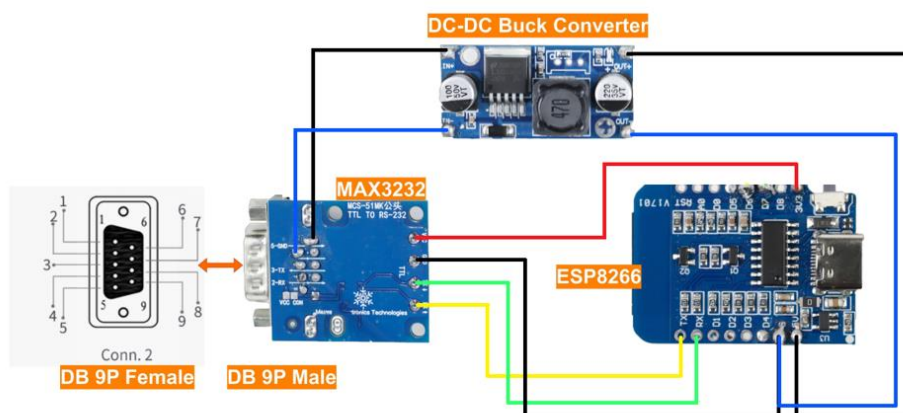


Рисунок 2.4 - Схема підключення ESP8266 до інвертора через MAX3232

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		33

На схемі використовується роз'єм DB9 9P, модуль перетворення рівнів MAX3232, мікроконтролер ESP8266 D1 mini та понижувальний перетворювач DC-DC Buck Converter. Перетворювач живлення знижує напругу до рівня, потрібного для роботи електронних модулів. Це потрібно для стабільного живлення ESP8266 і MAX3232.

Для обміну даними використовуються лінії TX, RX та GND. Лінія передавання одного пристрою повинна приходити на лінію приймання іншого. У розробленій схемі жовтий провід підключений до виводу TX мікроконтролера ESP8266, а зелений провід - до виводу RX. Таке підключення відповідає логіці UART-обміну, де один провід відповідає за передавання запитів, а інший - за приймання відповіді від інвертора.

Основні з'єднання між елементами наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Основні з'єднання ESP8266, MAX3232 та роз'єму DB9

Елемент схеми	Підключення	Призначення
DB9 Pin 2	Лінія RS232 RXD	Приймання даних на стороні RS232
DB9 Pin 3	Лінія RS232 TXD	Передавання даних на стороні RS232
DB9 Pin 5	GND	Спільна земля
MAX3232 VCC	3,3 В	Живлення перетворювача рівнів
MAX3232 GND	GND	Спільна земля
MAX3232 T1IN	ESP8266 TX	Передавання запиту від ESP8266 до інвертора
MAX3232 R1OUT	ESP8266 RX	Приймання відповіді від інвертора
ESP8266 VIN / 3V3	Вихід DC-DC перетворювача	Живлення мікроконтролера
ESP8266 GND	GND	Спільна земля схеми

Живлення вузла зв'язку виконано через DC-DC Buck Converter. На його вхід подається постійна напруга, а на виході формується нижча стабілізована напруга для електроніки. У такій схемі не потрібно ставити окремий блок живлення тільки для ESP8266 і MAX3232. Головне - правильно налаштувати вихідну напругу перетворювача перед підключенням мікроконтролера.

Обмін даними між ESP8266 та інвертором виконується через послідовний інтерфейс UART.

У системі використовується протокол Modbus RTU. ESP8266 надсилає запит до інвертора, після чого інвертор повертає значення потрібних регістрів. Таким способом можна отримувати не тільки один параметр, а цілий набір даних про роботу системи: напругу мережі, частоту, потужність навантаження, напругу акумулятора, параметри сонячних панелей, температуру та режим роботи інвертора.

Основні параметри, які зчитуються з інвертора, наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 - Основні параметри інвертора, що зчитуються через Modbus RTU

Адреса регістра	Параметр	Одиниця	Призначення
201	Working Mode	—	Поточний режим роботи інвертора
202	Effective mains voltage	В	Напруга зовнішньої мережі
205	Inverter voltage	В	Напруга інвертора
213	Output active power	Вт	Активна потужність навантаження
215	Battery average voltage	В	Напруга акумуляторної батареї
216	Battery average current	А	Струм акумуляторної батареї
217	Battery average power	Вт	Потужність акумуляторної батареї
219	PV average voltage	В	Напруга сонячних панелей
223	PV average power	Вт	Потужність сонячної генерації
224	PV charging average power	Вт	Потужність заряджання від PV
220	PV average current	А	Струм сонячних панелей
204	Average mains power	Вт	Потужність, пов'язана з мережею
229	Battery percentage	%	Рівень заряду акумулятора

Окремо зчитується режим роботи інвертора. Це зручно, бо користувач бачить не тільки числові параметри, а й загальний стан системи.

Таблиця 2.6 - Коди режимів роботи інвертора

Код	Режим роботи
0	Power On Mode
1	Standby mode
2	Mains mode
3	Off-Grid mode
4	Bypass mode
5	Charging mode
6	Fault mode

У Home Assistant такі значення краще показувати не у вигляді цифр, а як текстові назви. Наприклад, якщо інвертор повертає код 3, у системі відображається Off-Grid mode. Це робить моніторинг зрозумілішим, бо користувачу не потрібно кожного разу згадувати, що означає певний числовий код.

Зчитування даних відбувається періодично. Завдяки цьому система моніторингу може показувати поточний стан електроживлення майже в реальному часі. Користувач бачить, яка потужність надходить від сонячних панелей, який заряд акумулятора, яке навантаження підключене до інвертора і чи використовується зовнішня мережа.

2.5. Організація передавання даних через Wi-Fi та Bluetooth

Передавання даних у розроблюваній системі організовано через бездротові канали зв'язку. Це зроблено для того, щоб не прокладати додаткові сигнальні кабелі між усіма вузлами системи. Основними каналами є Wi-Fi та Bluetooth Low Energy. Wi-Fi використовується для передавання даних у Home Assistant, а Bluetooth - для отримання параметрів акумуляторних батарей від BMS.

У системі є два окремі мікроконтролери. Перший - ESP8266 D1 mini. Він підключений до інвертора через MAX3232 та RS232, зчитує параметри інвертора і передає їх у Home Assistant через Wi-Fi.

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

Другий мікроконтролер - ESP32 DevKit V1. Він використовується для моніторингу акумуляторних батарей. На відміну від ESP8266, ESP32 має підтримку Bluetooth Low Energy, тому може підключатися до BMS акумуляторів без дротового з'єднання.

У розроблюваній системі моніторинг акумуляторів виконується тільки через Bluetooth / BLE. Дротове підключення до BMS не використовується. ESP32 приймає дані від BMS, після чого передає їх у Home Assistant уже через Wi-Fi. Таким чином, Bluetooth використовується тільки на ділянці між BMS і ESP32, а Wi-Fi - на ділянці між ESP32 та сервером моніторингу.

Через BLE з акумуляторних BMS зчитуються основні параметри батарей. До них належать загальна напруга, рівень заряду, напруга окремих комірок, температура, стан заряджання, розряджання та балансування.

Живлення ESP32 виконано через USB від зарядного пристрою 5 В, підключеного до звичайної розетки. Такого живлення достатньо, оскільки ESP32 не керує силовими колами, а тільки приймає дані з BMS і передає їх далі.

ESP8266 також підключається до локальної Wi-Fi мережі. Після зчитування даних з інвертора він передає їх на сервер Home Assistant. У результаті користувач може бачити напругу мережі, потужність навантаження, напругу акумулятора, потужність сонячних панелей, температуру інвертора та інші параметри. Усі ці значення не потрібно дивитися на дисплеї інвертора, бо вони доступні в одному інтерфейсі.

Сервер Home Assistant працює на Mini PC. Він приймає дані від ESP8266, ESP32 та інших пристроїв у локальній мережі. Далі ці дані можна переглядати у веб-інтерфейсі, використовувати для графіків, сповіщень або автоматизацій.

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		37

Таблиця 2.7 - Канали передавання даних у системі моніторингу

Канал зв'язку	Ділянка системи	Які дані передаються	Призначення
RS232	Інвертор - MAX3232 - ESP8266	Параметри інвертора	Зчитування даних з PowMr
Wi-Fi	ESP8266 - Home Assistant	Дані інвертора	Передавання параметрів у систему моніторингу
Bluetooth Low Energy	BMS - ESP32	Параметри акумуляторів	Моніторинг АКБ без дротового підключення
Wi-Fi	ESP32 - Home Assistant	Дані з BMS	Передавання параметрів акумуляторів
Wi-Fi / Ethernet	Home Assistant - користувач	Дані системи, графіки, сповіщення	Доступ до веб-інтерфейсу

Для користувача така схема зручна тим, що всі параметри потрапляють в одне місце. Не потрібно окремо перевіряти дисплей інвертора, окремо BMS-додаток і окремо лічильник. Home Assistant об'єднує ці дані в один інтерфейс. Завдяки цьому простіше зрозуміти, як зараз працює система: від сонця, від акумуляторів чи від мережі.

Окремо варто зазначити, що бездротова передача даних не впливає на саму силову роботу системи. Якщо Wi-Fi або Bluetooth тимчасово втратить зв'язок, інвертор і акумуляторна частина продовжать працювати за своїми налаштуваннями.

2.6. Розроблення електричної схеми системи електрозабезпечення

Електрична схема системи наведена на рисунку 2.6 потрібна для того, щоб показати не тільки склад обладнання, а й порядок його підключення. У такій системі важливо правильно розділити кола змінного і постійного струму, передбачити захист, комутацію та можливість роботи від різних джерел живлення.

Центральним вузлом схеми є інвертор PowMr POW-HVM6.2K-48V-LIP. До нього підходить вхід від мережі, вихід на навантаження, PV-вхід від сонячних

панелей і акумуляторна батарея 48 В. Така побудова відповідає гібридній системі, де інвертор працює не окремо, а разом з іншими джерелами енергії.

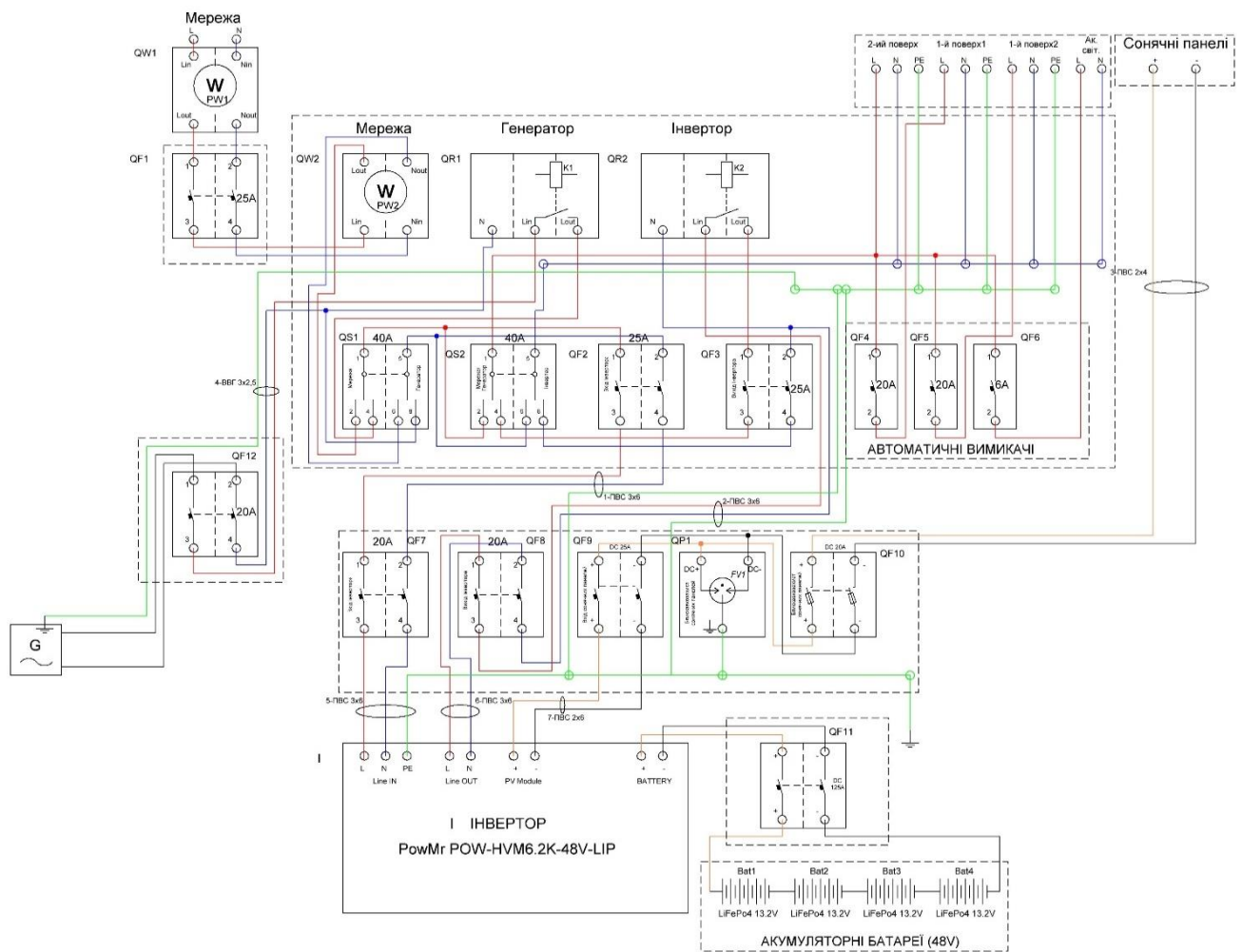


Рисунок 2.6 - Електрична схема системи електрозабезпечення будинку

Зовнішня мережа заходить у систему через лічильник електроенергії QW1 та автоматичний вимикач QF1. Після цього живлення може подаватися далі на комутаційну частину. Для з'єднання з системою Home Assistant використовується лічильник QW2. Наявність лічильників дозволяє бачити споживання електроенергії та порівнювати роботу системи в різних режимах.

У схемі передбачено резервне джерело живлення - однофазний бензогенератор G потужністю 3,2 кВт. Він підключений через автоматичний вимикач QF12. Генератор потрібний як додатковий варіант живлення у випадку,

коли немає зовнішньої мережі, акумулятори розряджені, а сонячної генерації недостатньо. Тобто він не є основним джерелом, але може допомогти в аварійній ситуації.

Для перемикання джерел живлення використовуються перемикачі QS1 та QS2 на 40 А. Вони дають можливість вибирати, від якого джерела буде живитися система: від мережі, генератора або через інвертор. Такий вузол потрібний для безпечного перемикання, щоб різні джерела не були неправильно з'єднані між собою.

Акумуляторна частина складається з чотирьох LiFePO4 батарей Batt1–Batt4. Вони формують акумуляторний блок на 48 В. Підключення акумуляторного блока до інвертора виконане через двополюсний автоматичний вимикач постійного струму QF11 на 125 А. Він потрібний для захисту акумуляторного кола і для можливості відключення батареї під час обслуговування

2.7. Розрахунок енергоспоживання та аналіз режимів роботи системи

Для нормальної роботи системи електрозабезпечення потрібно розуміти, яке навантаження вона буде жити. Самого факту наявності інвертора, сонячних панелей і акумуляторів ще недостатньо. Якщо навантаження будинку буде занадто великим, акумуляторна батарея швидко розрядиться, а сонячна генерація не зможе повністю покрити споживання. Тому перед аналізом режимів роботи потрібно виконати хоча б орієнтовний розрахунок добового споживання.

Добове споживання окремого споживача визначається за його потужністю та часом роботи:

$$E = \frac{P \times t}{1000}$$

де E - спожита електроенергія, кВт·год;

P - потужність споживача, Вт;

t - час роботи протягом доби, год.

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		40

Для попередньої оцінки було складено орієнтовну таблицю споживання. У ній враховано не всі можливі прилади будинку, а основні навантаження, які можуть працювати в нормальному режимі

Таблиця 2.9. Орієнтовне добове споживання електроенергії будинку

Прилад	Потужність, Вт	Час роботи за добу, год	Добове споживання, кВт·год
Освітлення	100	6	0,6
Холодильник	120	8	0,96
Wi-Fi роутер	15	24	0,36
Телевізори	300	6	1,8
Пральна машина	500	1	0,5
Кухонні прилади	300	0,5	0,15
Комп'ютер	100	4	0,40
Разом			5,25

З даної таблиці видно, що орієнтовне добове споживання становить близько **5,25 кВт·год**. Це не є сталим значенням, бо в реальному будинку споживання змінюється щодня. Воно залежить від сезону, кількості ввімкнених приладів, роботи насосів, побутової техніки та інших факторів. Але для початкової оцінки такого розрахунку достатньо, щоб зрозуміти загальне навантаження на систему.

Акумуляторна батарея в системі складається з чотирьох LiFePO₄ акумуляторів, з'єднаних у батарейний блок на 48 В. Ємність одного акумулятора становить 130 А·год. Повну енергію акумуляторного блока можна приблизно визначити за формулою:

$$E_{\text{АКБ}} = \frac{U \times C}{1000}$$

де U - напруга батареї, В;

C - ємність, А·год.

Для батареї 48 В і ємності 130 А·год:

$$E_{\text{АКБ}} = \frac{48 \times 130}{1000} = 6,24 \text{ кВт/год}$$

Тобто повний запас енергії акумуляторної батареї становить приблизно **6,24 кВт·год**. Але використовувати всю цю енергію небажано. У системі передбачено нижню межу заряду близько 25 %, після якої інвертор переходить на зовнішню мережу або інше резервне джерело. Це робиться для того, щоб не розряджати батарею занадто глибоко і зберегти її ресурс.

Корисна частина енергії при роботі від 100 % до 25 % становить:

$$E_{\text{кор}} = 6,24 \times 0,75 = 4,68 \text{ кВт/год}$$

Сонячні панелі в цій системі працюють як основне джерело енергії. Їхня фактична генерація залежить від кількості панелей, погоди, пори року, кута встановлення і затінення. Для попереднього розрахунку можна використати таку залежність:

$$E_{PV} = P_{PV} \times t_{\text{сонц}} \times k$$

P_{PV} - встановлена потужність сонячних панелей, кВт;

$t_{\text{сонц}}$ - час найбільшої сонячної генерації, год.;

k - коефіцієнт втрат системи.

При 4 ефективних сонячних годинах і коефіцієнті втрат 0,75 добова генерація може становити:

$$E_{PV} = 3,2 \times 4 \times 0,75 = 9,6 \text{ кВт/год}$$

Це орієнтовне значення. У літній сонячний день генерація може бути більшою, а взимку або в похмуру погоду - значно меншою. Але навіть такий приблизний розрахунок показує, що при достатній кількості панелей сонячна частина може покривати основне добове споживання будинку і ще заряджати акумуляторну батарею.

У розроблюваній системі робота організована за пріоритетом SBU - Solar Battery Utility. Це означає, що спочатку використовується сонячна енергія, потім акумуляторна батарея, а вже після цього зовнішня мережа.

Основні режими роботи системи наведено в таблиці 2.11.

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		42

Таблиця 2.11 - Основні режими роботи системи електроживлення

Умова роботи	Джерело живлення	Опис режиму
Є достатня сонячна генерація	Сонячні панелі	Будинок живиться від PV, надлишок може заряджати АКБ
Сонячної генерації не вистачає, SOC більше 25 %	PV + АКБ	Частина енергії надходить від сонця, частина - з акумулятора
Сонця немає, SOC більше 25 %	АКБ	Будинок працює від акумуляторної батареї
SOC знизився менше 25 %, мережа доступна	Зовнішня мережа	Система переходить на мережу, щоб не розряджати АКБ глибше
SOC низький, мережа відсутня	Генератор або аварійний режим	Використовується резервне джерело або обмежується навантаження
Перевантаження або перегрів	Захисний режим	Інвертор переходить у захист або аварійний стан

Найкраще система працює тоді, коли є достатньо сонця. У цей час будинок може брати енергію безпосередньо від сонячних панелей, а мережа майже не задіюється. Якщо панелі виробляють більше, ніж зараз споживають прилади, зайва енергія йде на заряджання акумулятора. Для денного періоду це найзручніший варіант, бо саме тоді сонячна генерація зазвичай найбільша.

Коли сонця вже не вистачає, частину роботи бере на себе акумуляторна батарея. Найчастіше це відбувається ввечері, вночі або в похмуру погоду. У такому режимі будинок ще певний час може не брати електроенергію з мережі.

Якщо заряд батареї падає до мінімального встановленого рівня, система переходить на зовнішню мережу. Для розглянутої системи прийнято поріг 25 % SOC. Це зроблено не випадково. Якщо розряджати акумулятор занадто глибоко, його ресурс буде зменшуватися швидше.

Для контролю реального споживання в системі може використовуватись Wi-Fi лічильник Atorch. Він показує поточну потужність, напругу, струм і кількість спожитої електроенергії.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ МОНІТОРИНГУ ТА КЕРУВАННЯ

3.1. Використання платформи Home Assistant для моніторингу системи

Для зручної роботи з системою всі основні дані виводяться у веб-інтерфейс Home Assistant. Через нього користувач може переглядати стан обладнання, переходити між дашбордами, відкривати налаштування пристроїв та аналізувати роботу системи. Такий інтерфейс зручний тим, що не потрібно окремо перевіряти дисплей інвертора, BMS акумуляторів або лічильник електроенергії. Основна інформація зібрана в одному середовищі.

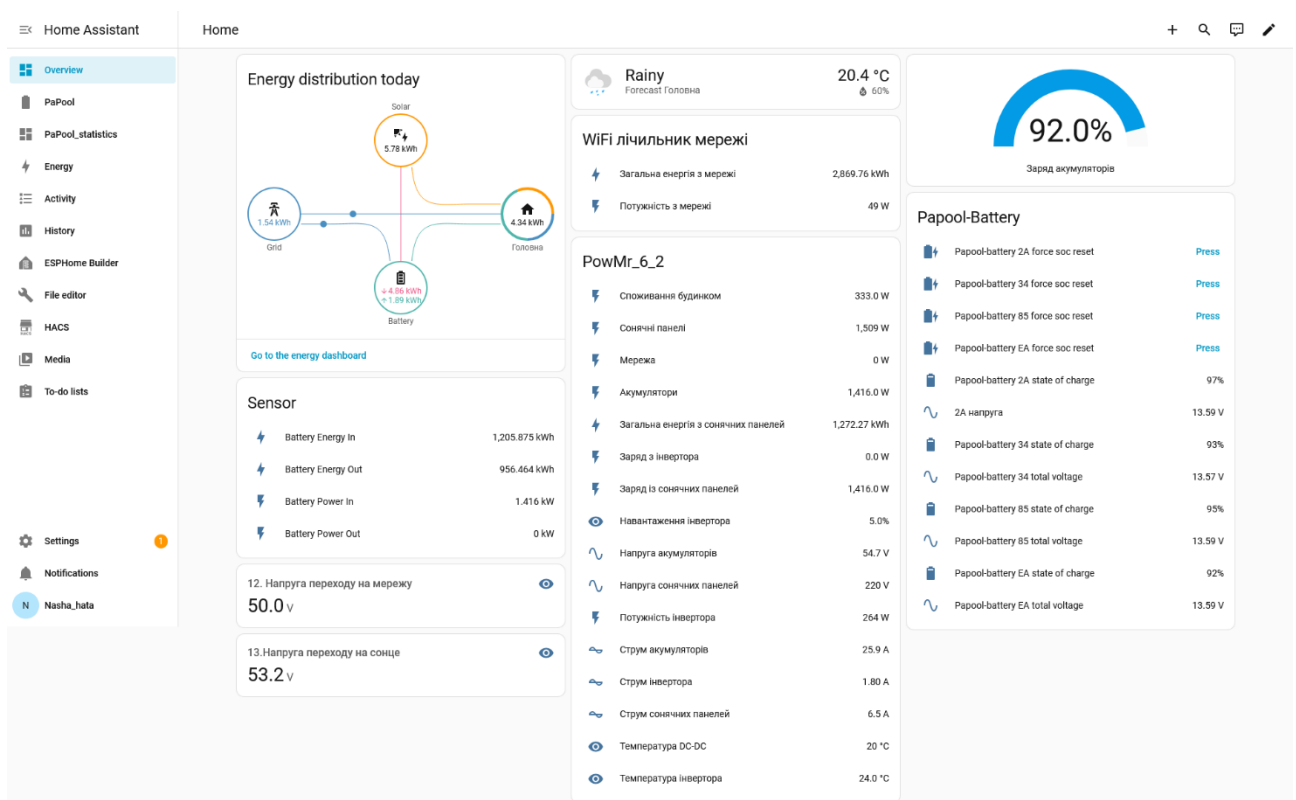


Рисунок 3.1 - Загальний вигляд інтерфейсу Home Assistant

Для зв'язку з мікроконтролерами ESP3286 та ESP32 у систему Home Assistant встановлена інтеграція ESPHome Builder, а для зв'язку з лічильником встановлена інтеграція TuYa. Вони виконують роль центрального середовища, куди надходять дані від інвертора, акумуляторних батарей та інших пристроїв.

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		44

Основна ідея такого підходу полягає в тому, щоб не переглядати параметри окремо на дисплеї інвертора, у додатку BMS чи на лічильнику, а зібрати все в одному інтерфейсі.

Сервер Home Assistant у розроблюваній системі працює на Mini PC BEBERC. Це компактний комп'ютер, який може постійно працювати в локальній мережі будинку. Для такої задачі він підходить краще, ніж звичайний ноутбук або персональний комп'ютер, бо займає мало місця, має достатню продуктивність і може бути увімкнений цілодобово. На ньому виконується збирання даних, збереження історії, побудова графіків і відображення поточного стану електрозабезпечення.

Home Assistant зручний тим, що дозволяє поєднати різні пристрої в одну систему. У розроблюваній системі дані надходять від двох основних ESPHome-вузлів. Перший вузол - PowMr_6_2. Він пов'язаний з інвертором PowMr і відповідає за передавання параметрів інвертора в Home Assistant. Через нього можна отримувати дані про напругу мережі, потужність навантаження, напругу акумулятора, сонячну генерацію, температуру та поточний режим роботи інвертора.

Другий вузол - rapool-battery. Він використовується для моніторингу акумуляторних батарей через BMS. У цьому випадку дані з BMS передаються на ESP32 через Bluetooth Low Energy, а вже з ESP32 надходять у Home Assistant через Wi-Fi. Такий варіант зручний, бо для моніторингу акумуляторів не потрібно прокладати окремі дроти до кожної BMS. Достатньо, щоб ESP32 знаходився в зоні стабільного Bluetooth-зв'язку з акумуляторними модулями.

Для налаштування мікроконтролерів використовується ESPHome. Це середовище дозволяє описувати роботу ESP8266 та ESP32 через YAML-конфігурації.

Фрагмент налаштування ESPHome-пристрою для моніторингу акумуляторів наведено в лістингу 3.1.

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		45

Лістинг 3.1 - Фрагмент опису ESPHome-пристрою для моніторингу акумуляторів

```
substitutions:
  name: papool-battery
  device_description: "Monitor and control a Xiaoxiang Battery
Management System (JBD-BMS) via BLE"

esphome:
  name: ${name}
  comment: ${device_description}

esp32:
  board: esp32doit-devkit-v1
```

У цьому фрагменті задається назва пристрою papool-battery, короткий опис його призначення та тип плати ESP32. Такий пристрій у Home Assistant відображається як окремий вузол, який відповідає саме за зчитування параметрів акумуляторних BMS. Повна конфігурація містить також BLE-клієнти, датчики напруги, SOC, температури, балансування та інші параметри.

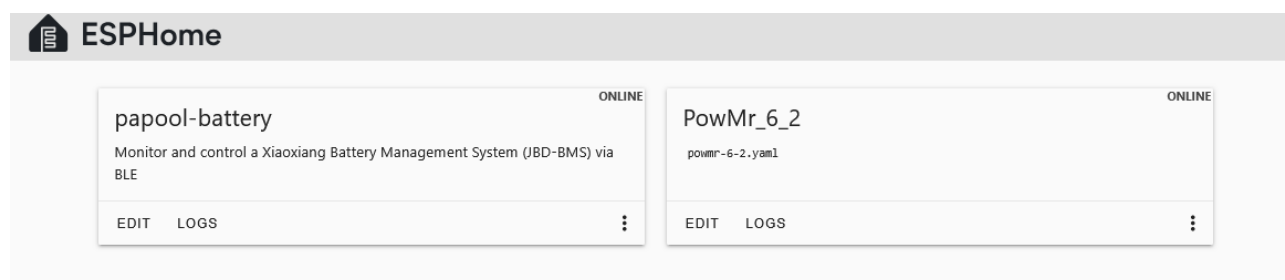


Рисунок 3.2 - Пристрої ESPHome для моніторингу інвертора та акумуляторних батарей

На сторінці ESPHome Builder видно два основні пристрої, які використовуються в системі моніторингу: papool-battery та PowMr_6_2. Обидва пристрої мають статус online, тобто вони підключені до локальної мережі та доступні для Home Assistant.

Наявність окремих ESPHome-пристроїв дозволяє розділити задачі між мікроконтролерами. ESP8266 працює біля інвертора і зчитує його параметри через RS232. ESP32 розміщується біля акумуляторного блоку і приймає дані від

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

BMS через Bluetooth. Обидва пристрої передають інформацію на сервер Home Assistant через Wi-Fi. Завдяки цьому система не залежить від одного контролера, а кожен вузол виконує свою конкретну функцію.

Через веб-інтерфейс Home Assistant можна бачити поточний стан системи: генерацію сонячних панелей, заряд акумуляторів, споживання будинку, роботу інвертора та енергетичний баланс. Також платформа зберігає історію показників. Це дає змогу переглядати, як змінювалося споживання протягом дня, коли акумулятори заряджалися, а коли система брала енергію з мережі.

Для розширення можливостей інтерфейсу можуть використовуватись додаткові компоненти Home Assistant. Наприклад, через HACS можна встановлювати картки для зручнішого відображення потоків енергії, стану акумуляторів або статистики споживання. У такому випадку стандартний інтерфейс можна адаптувати під конкретну систему електрозабезпечення, а не обмежуватись лише типовими картками.

Home Assistant також може використовуватися для сповіщень. Наприклад, система може повідомити користувача про низький заряд акумулятора, зникнення мережі, зміну режиму роботи інвертора або аварійний стан.

3.2. Реалізація збору та обробки даних

Параметри інвертора зчитуються за допомогою мікроконтролера ESP8266 D1 mini. Він підключений до інвертора через інтерфейс RS232 з використанням перетворювача рівнів MAX3232. У програмній частині для цього налаштовується UART-з'єднання і Modbus-контролер. Через цей канал зчитуються напруга мережі, потужність навантаження, параметри акумулятора, потужність сонячних панелей, температура інвертора та режим його роботи.

Лістинг 3.2 - Налаштування UART та Modbus для зчитування параметрів інвертора

```
uart:
```

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		47

```

- id: uart_inverter
  baud_rate: 9600
  tx_pin: GPIO1
  rx_pin: GPIO3
  data_bits: 8
  parity: NONE
  stop_bits: 1

modbus:
- id: modbus_inverter
  uart_id: uart_inverter

modbus_controller:
- id: smg_inverter
  address: 0x01
  modbus_id: modbus_inverter
  update_interval: 2s

```

У цьому фрагменті задаються параметри послідовного обміну. Використовується швидкість 9600 бод, лінії GPIO1 і GPIO3, 8 біт даних, без парності та з одним стоп-бітом. Далі створюється Modbus-з'єднання, через яке ESP8266 звертається до інвертора з адресою 0x01. Інтервал оновлення становить 2 секунди, тому значення в Home Assistant змінюються майже в реальному часі.

Для кожного параметра інвертора в ESPHome створюється окремий сенсор.

Лістинг 3.3 - Приклад зчитування потужності сонячних панелей

```

- platform: modbus_controller
  modbus_controller_id: smg_inverter
  name: "PV average power"
  address: 223
  register_type: holding
  value_type: S_WORD
  state_class: measurement
  unit_of_measurement: "W"
  device_class: power

```

Цей приклад показує, як один параметр інвертора перетворюється на сенсор Home Assistant. Подібним способом у систему додаються напруга мережі, частота, потужність навантаження, напруга акумулятора, струм, температура та інші значення.

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		48

Окремо реалізовано моніторинг акумуляторних батарей. Для цього використовується ESP32 DevKit V1, тому що він підтримує Bluetooth Low Energy. У розроблюваній системі підключення до BMS виконується тільки через Bluetooth. Дротовий зв'язок з BMS не використовується. Це спрощує монтаж, бо біля акумуляторного блока не потрібно прокладати додаткові сигнальні кабелі до кожної батареї.

ESP32 живиться через USB від зарядного пристрою 5 В, підключеного до розетки. Такого живлення достатньо, оскільки ESP32 не керує силовими колами, а тільки приймає дані з BMS і передає їх у Home Assistant через Wi-Fi.

Лістинг 3.4 - Налаштування BLE-з'єднання з BMS акумуляторної батареї

```
ble_client:
  - mac_address: A5:C2:37:2C:63:2A
    id: client0

jbd_bms_ble:
  - id: bms0
    ble_client_id: client0
    update_interval: 2s
```

У цьому фрагменті вказується MAC-адреса BMS і створюється BLE-клієнт BMS отримуються такі параметри: рівень заряду, загальна напруга, потужність, середня напруга комірки, напруга окремих комірок, різниця між комірками, температура, стан заряджання, розряджання та балансування. Ці дані важливі, бо вони дозволяють бачити реальний стан акумуляторів, а не тільки приблизний відсоток заряду.

Обробка даних у Home Assistant виконується не тільки для поточного перегляду. Частина значень зберігається в історії, після чого їх можна використовувати для графіків і аналізу. Наприклад, за даними інвертора можна побачити, коли була сонячна генерація, коли будинок працював від акумуляторів, а коли використовувалась зовнішня мережа.

У будинку використовується двозонний облік електроенергії, тому в системі можна враховувати денний і нічний тарифи. Це корисно тоді, коли

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		49

сонячної енергії або заряду акумуляторів недостатньо і частину енергії все ж доводиться брати з мережі. У такому випадку Home Assistant може показувати не тільки кількість спожитих кіловат-годин, а й вартість цієї енергії.

Sources		
Source	Usage	Cost
 Загальна енергія з сонячних панелей	8.1 kWh	
Solar total	8.1 kWh	
 Battery Energy Out	2.89 kWh	
 Battery Energy In	-6.13 kWh	
Battery total	-3.24 kWh	
 ATORCH Smart Energy Meter(GR2PWS) Monthly energy peak	1.29 kWh	UAH 5.57
 ATORCH Smart Energy Meter(GR2PWS) Monthly energy offpeak	2.65 kWh	UAH 5.72
Grid total	3.94 kWh	UAH 11.30

Рисунок 3.2 - Облік спожитої електроенергії та її вартості у Home Assistant

На рисунку 3.2 можна показати сторінку Home Assistant, де відображаються джерела енергії, споживання з мережі, денна й нічна зона, а також вартість електроенергії у гривнях.

Окремо можна передбачити сценарій заряджання акумуляторів у нічний період. Наприклад, якщо рівень заряду батареї опускається нижче 25 %, заряджання від мережі дозволяється переважно вночі, коли тариф нижчий. Це дає можливість підтримувати мінімальний запас енергії в АКБ і не заряджати батарею від мережі в дорожчий період без потреби.

Уся зібрана інформація надходить у Home Assistant і використовується для подальшого відображення.

3.3. Розроблення алгоритму роботи автоматизованої системи

Для пояснення логіки роботи системи було розроблено блок-схему алгоритму. Вона показує, як система вибирає джерело живлення, у якій

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		50

послідовності перевіряються основні параметри та коли дані передаються в Home Assistant. Такий алгоритм потрібний для того, щоб робота системи була не випадковою, а залежала від реального стану сонячної генерації, акумуляторної батареї, навантаження та зовнішньої мережі.

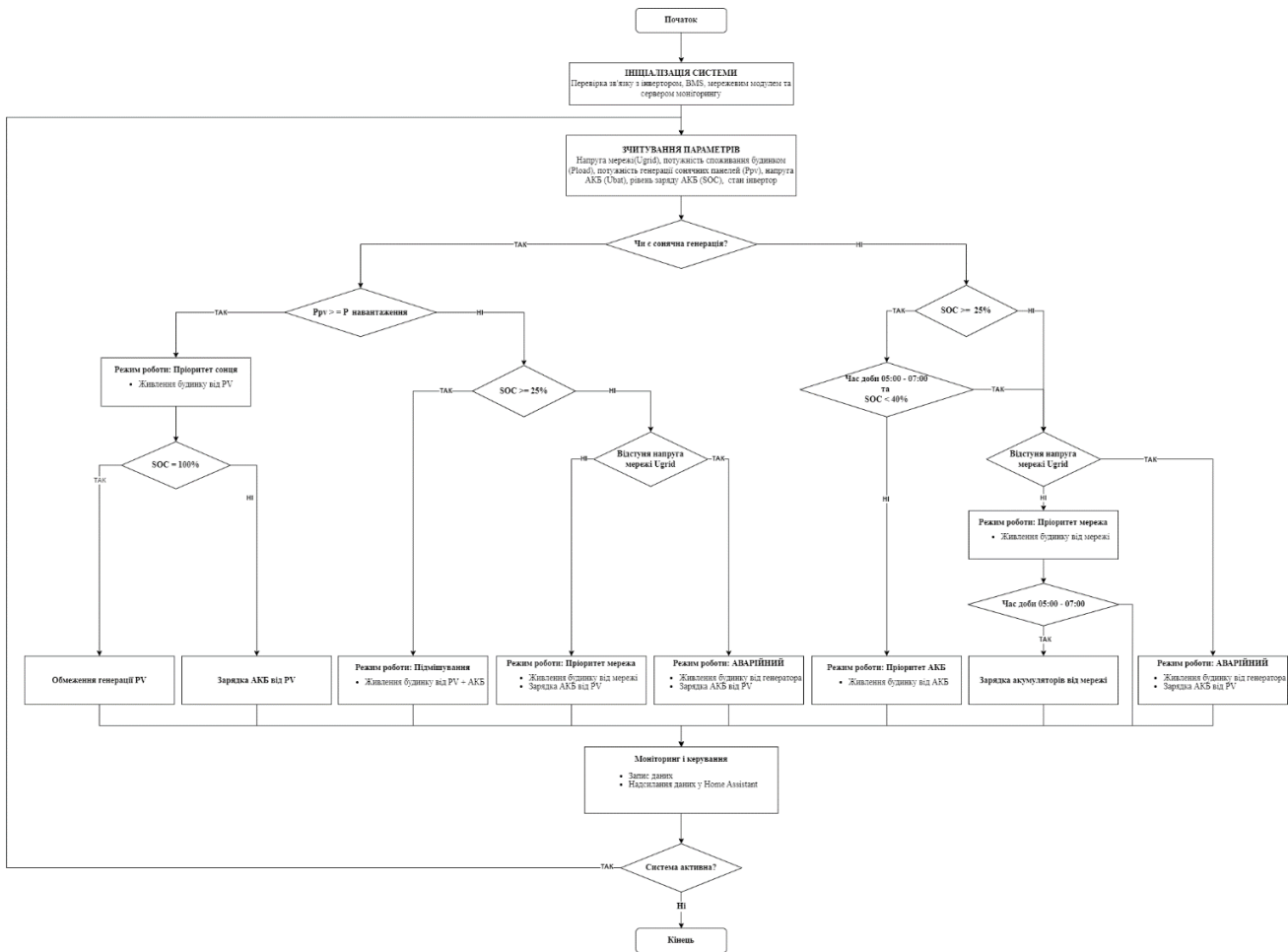


Рисунок 3.3 - Блок-схема алгоритму роботи автоматизованої системи електрозабезпечення будинку

На початку роботи виконується ініціалізація системи. У цей момент запускаються основні вузли моніторингу, перевіряється зв'язок з інвертором, акумуляторними BMS та Home Assistant. Після цього система переходить до зчитування параметрів. Основними даними є напруга зовнішньої мережі Ugrid, потужність навантаження Pload, потужність сонячної генерації Prpv, напруга акумуляторної батареї Ubat, рівень заряду SOC та поточний стан інвертора.

Після отримання параметрів система перевіряє, чи є сонячна генерація. Це один із головних етапів, бо розроблювана система працює за логікою SBU, тобто пріоритет має саме сонячна енергія. Якщо сонячні панелі виробляють достатньо потужності, система переходить у режим пріоритету сонця. У такому випадку навантаження будинку живиться від PV, а надлишкова енергія може використовуватись для заряджання акумуляторів.

Якщо сонячна генерація є, але її недостатньо для повного покриття навантаження, система порівнює P_{pv} з P_{load} . Коли потужність сонячних панелей менша за потужність споживання, частину енергії бере на себе акумуляторна батарея. Такий режим можна розглядати як спільну роботу PV + АКБ. Він є досить важливим у реальних умовах, бо сонячна генерація не завжди стабільна. Наприклад, при хмарності або збільшенні навантаження панелі можуть не покривати всі потреби будинку.

Далі система контролює рівень заряду акумуляторів. Основним нижнім порогом прийнято 25 % SOC. Якщо заряд батареї вищий за це значення, акумулятор може використовуватись для живлення навантаження. Якщо ж заряд опускається нижче 25 %, система повинна обмежити подальший розряд і перейти на зовнішню мережу, якщо вона доступна. Це зроблено для того, щоб не розряджати LiFePO₄ батареї занадто глибоко і не зменшувати їх ресурс.

Окремо в алгоритмі враховано стан повного заряду акумуляторної батареї. Якщо SOC = 100 %, подальше заряджання обмежується або припиняється. У такому режимі сонячна енергія в першу чергу використовується для живлення навантаження будинку. Це дозволяє уникнути зайвого перезаряджання акумуляторів і підтримувати їх роботу в нормальних межах.

У схемі також передбачена додаткова умова для ранкового періоду з 05:00 до 07:00. Якщо в цей час рівень заряду акумулятора нижчий за 40 %, система може переходити до режиму заряджання від мережі. Такий підхід має практичний сенс: перед початком активного денного споживання акумулятор повинен мати певний запас енергії. Крім того, цей проміжок часу може бути вигідним при використанні нічного тарифу електроенергії.

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		52

Якщо сонячної генерації немає або її недостатньо, система перевіряє наявність напруги зовнішньої мережі. Якщо мережа доступна, а заряд акумулятора низький, живлення будинку може перейти на мережу. Якщо ж мережа відсутня і заряд батареї також недостатній, система переходить в аварійний режим. У такому випадку потрібно або обмежувати навантаження, або використовувати резервне джерело живлення, якщо воно доступне.

Таблиця 3.1 - Основні режими роботи алгоритму автоматизованої системи електрозабезпечення

Умова	Режим роботи системи
Prv достатня для навантаження	Пріоритет сонячної енергії
Сонячна генерація недостатня, SOC вище 25 %	Живлення від PV та акумуляторної батареї
Сонячної генерації немає, SOC вище 25 %	Живлення від акумуляторної батареї
SOC нижче 25 %, мережа доступна	Перехід на зовнішню мережу
SOC нижче 25 %, мережа відсутня	Аварійний режим
SOC = 100 %	Обмеження або припинення заряджання АКБ
05:00–07:00 і SOC < 40 %	Дозаряджання АКБ від мережі за потреби

Після вибору режиму роботи всі дані передаються в Home Assistant. Алгоритм працює циклічно. Після передавання даних у Home Assistant система знову повертається до зчитування параметрів. Це дозволяє постійно оновлювати інформацію і реагувати на зміну умов. Наприклад, якщо з'явилась сонячна генерація, система може перейти з акумулятора на PV. Якщо навантаження різко збільшилось, може підключитися АКБ. Якщо заряд батареї знизився до мінімального рівня, система переходить на мережу.

3.4. Візуалізація параметрів системи у веб-інтерфейсі

Однією з головних переваг використання Home Assistant є можливість показувати параметри системи у зрозумілому вигляді. Для користувача важливо

не просто отримати числові значення з інвертора чи BMS, а швидко зрозуміти, як зараз працює електрозабезпечення будинку.

Основна сторінка енергомоніторингу побудована на стандартному розділі Energy у Home Assistant. У ньому відображається споживання електроенергії, генерація сонячних панелей, робота акумуляторної батареї та взаємодія із зовнішньою мережею. Такий вигляд зручний тим, що вся інформація подається не окремими датчиками, а як загальна картина руху енергії.



Рисунок 3.4 - Відображення енергетичного балансу системи у Home Assistant

На рисунку 3.4 показано сторінку моніторингу електроенергії. У верхній частині відображається графік використання електроенергії протягом доби. На ньому можна побачити, у які години будинок споживав енергію, коли відбувався заряд або розряд акумулятора, а також як змінювалось навантаження. Нижче розміщено графік сонячної генерації. Він показує, коли сонячні панелі почали виробляти енергію, у який час генерація була найбільшою і коли вона почала зменшуватися.

Окремо на цій сторінці показано блок Energy distribution. Він дає змогу швидко оцінити, звідки надходила електроенергія і куди вона витрачалась. У

цьому блоці видно зв’язок між сонячними панелями, мережею, акумулятором і навантаженням будинку.

Окрема сторінка створена для контролю акумуляторних батарей. Оскільки в системі використовується кілька LiFePO4 батарей з окремими BMS, важливо бачити стан кожної з них. Для цього в Home Assistant виводяться не тільки загальні параметри, а й дані по окремих батарейних модулях.

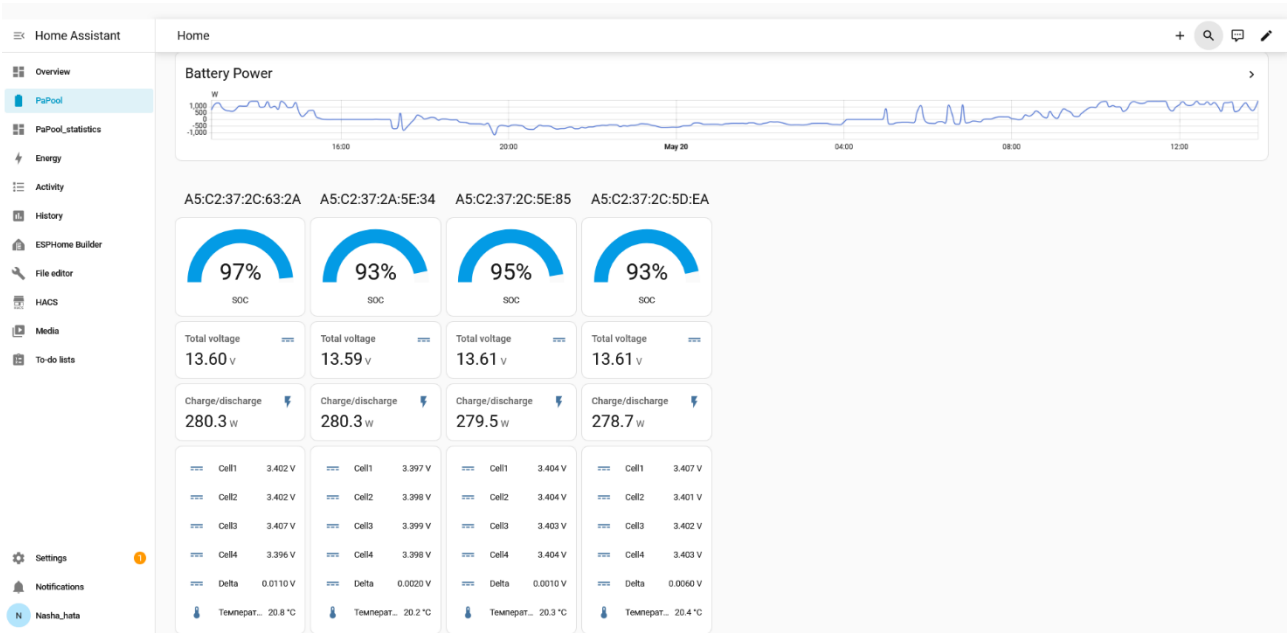


Рисунок 3.5 - Відображення параметрів акумуляторних батарей у Home Assistant

На рисунку 3.5 наведено дашборд акумуляторів. Для кожної батареї відображається рівень заряду SOC, загальна напруга, потужність заряджання або розряджання, напруга окремих комірок, різниця між комірками та температура. Таке відображення зручне, бо одразу видно, чи всі батареї працюють приблизно однаково. Якщо одна батарея має значно інші параметри, це можна швидко помітити.

Особливо важливим є контроль напруги окремих комірок. Навіть якщо загальна напруга батареї виглядає нормально, одна з комірок може мати відхилення. Саме тому в інтерфейсі показується не тільки загальна напруга, а й

значення для кожної комірки та параметр Delta. Чим менша різниця між комітками, тим рівномірніше працює акумуляторний блок.

Також у веб-інтерфейсі можна бачити стан заряджання, розряджання і балансування. Така інформація корисна при обслуговуванні акумуляторів, бо дозволяє зрозуміти, коли саме відбувались зміни в роботі батарей.

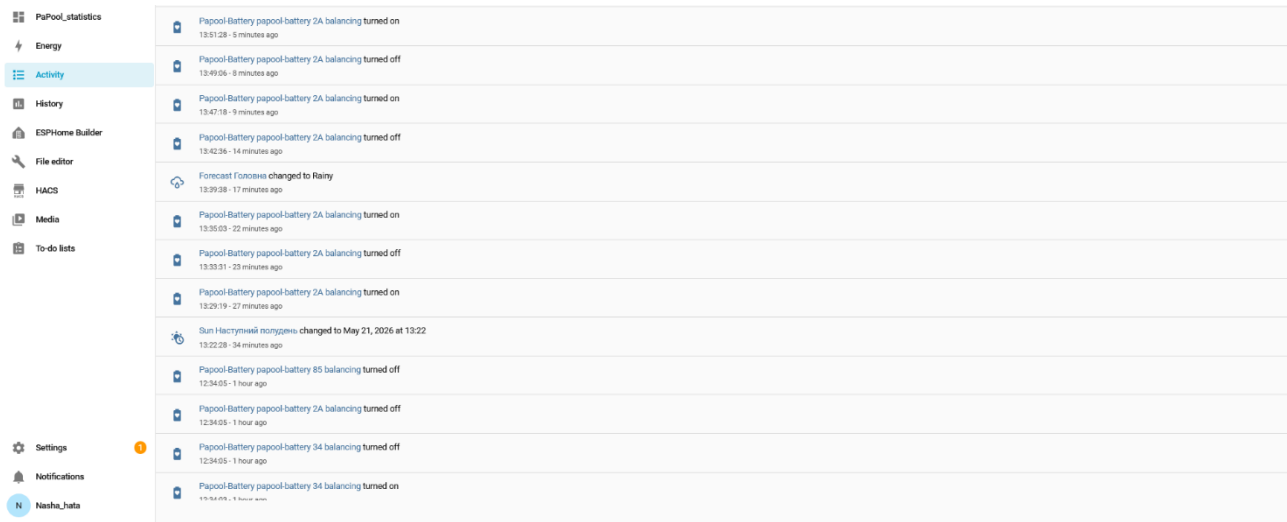


Рисунок 3.6 - Журнал подій системи моніторингу в Home Assistant

На рисунку 3.6 показано журнал подій, де фіксуються зміни станів акумуляторних BMS. Зокрема, можна побачити вмикання та вимикання балансування окремих батарей. Такий журнал не є основним екраном для щоденного перегляду, але він корисний під час аналізу роботи системи або пошуку причин нестабільної поведінки.

Для зручності користувача всі ці дані поділені на окремі сторінки. На одній сторінці можна переглядати загальний енергетичний баланс, на іншій - акумуляторні батареї, ще окремо - історію подій або налаштування ESPHome. Такий поділ робить інтерфейс зрозумілішим. Користувач не бачить одразу десятки датчиків на одному екрані, а відкриває саме той розділ, який потрібен у конкретний момент.

ВИСНОВКИ

У даній роботі було опрацьовано систему електрозабезпечення будинку, у якій поєднуються сонячні панелі, акумуляторні батареї, гібридний інвертор і засоби моніторингу. Така система потрібна не тільки для випадків, коли зникає напруга в мережі, вона також дає можливість у звичайному режимі частіше використовувати власну сонячну енергію і менше брати електроенергію від зовнішнього постачальника.

У запропонованій системі основним силовим елементом є гібридний інвертор PowMr POW-HVM6.2K-48V. Він зв'язує між собою сонячні панелі, акумуляторний блок, мережу та навантаження будинку. Для накопичення енергії використано LiFePO₄ акумулятори, оскільки вони краще підходять для частих циклів заряджання і розряджання. Стан батарей контролюється через BMS, що дає змогу стежити за напругою комірок, температурою, зарядом і балансуванням.

Робота системи побудована за пріоритетом SBU. Спочатку використовується енергія сонячних панелей, потім акумулятор, і тільки після цього зовнішня мережа. Такий режим добре підходить для приватного будинку, бо навіть при наявності електроенергії в мережі система може працювати від сонця або від накопиченої енергії.

Для отримання даних з інвертора використано ESP8266, який підключається через RS232 і перетворювач MAX3232. Параметри інвертора зчитуються за протоколом Modbus RTU. Окремо для акумуляторних батарей використано ESP32, який отримує дані з BMS через Bluetooth Low Energy. Після цього всі основні показники передаються в Home Assistant через Wi-Fi.

У Home Assistant користувач може бачити стан системи в одному місці. Відображаються потужність навантаження, сонячна генерація, рівень заряду акумуляторів, напруга батарей, температура, режим роботи інвертора, події BMS та споживання електроенергії.

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		57

Окремо розглянуто питання безпечної експлуатації. Для такої системи важливими є правильне підключення силових кіл, використання захисної автоматики, заземлення, контроль температури, захист PV-ліній і справний стан акумуляторів.

Отримана система може надалі розвиватися. До неї можна додавати нові датчики, розширювати сценарії автоматизації, використовувати прогноз погоди для оцінки майбутньої сонячної генерації, налаштовувати заряджання акумуляторів залежно від тарифів і часу доби, а також покращувати сповіщення про аварійні або нестандартні режими роботи. У такому вигляді система є практичною основою для подальшого вдосконалення домашнього електрозабезпечення.

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Парфенюк О. А. Електричні системи та мережі : навчальний посібник. - Чернівці : Чернівецький національний університет, 2013.
<https://archer.chnu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/8785/%D0%95%D0%A1%D0%86%D0%9C%20%D0%94%D1%80%D1%83%D0%BA.pdf>
2. Курепін В. М., Марченко Д. Д., Курепін Д. В. Охорона праці в галузі : навчальний посібник. - Миколаїв : МНАУ, 2023. - 586 с.
<https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/13157/1/ohorona-praci-v-galuzi-posibnik.pdf>
3. Бондаренко Є. А., Кутін В. М., Левицький С. М. Охорона праці в електроенергетиці : навчальний посібник. - Вінниця : ВНТУ, 2022.
https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2023/Bondarenko_2022_138.pdf
4. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів : Наказ Мінпраці України від 09.01.1998 № 4 [Електронний ресурс].
<https://zakon.rada.gov.ua/go/z0093-98>
5. PowMr. POW-HVM6.2K-48V-LIP User Manual V1.2.1014
https://community.powmr.com/wp-content/uploads/2025/05/POW-HVM6.2K-48V-LIP_User-Manual_V1.2.1014.pdf
6. PowMr. User Manual Downloads [Електронний ресурс].
<https://powmr.com/pages/powmr-user-manual>
7. Sunpro Power. TOPCon High Efficiency 620W Solar Panel
<https://www.sunpropoweronline.com/solar-panel/topcon-solar-panel/topcon-high-efficiency-620w.html>
8. Sunpro Power. Sunpro Power 625W TOPCon Solar Panels SPDG 620/635W-N132R12
<https://www.sunpropoweronline.com/solar-panel/topcon-solar-panel/sunpro-power-625w-topcon-solar-panels.html>
9. Home Assistant. Home Assistant Documentation [Електронний ресурс].
<https://www.home-assistant.io/docs/>

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		59

10. Home Assistant. Energy Management in Home Assistant [Електронний ресурс].
<https://www.home-assistant.io/blog/2021/08/04/home-energy-management/>
11. ESPHome. ESPHome Documentation [Електронний ресурс].
<https://esphome.io/components/>
12. ESPHome. Modbus Controller [Електронний ресурс].
https://esphome.io/components/modbus_controller/
13. Modbus Organization. MODBUS Application Protocol Specification V1.1b3
<https://www.modbus.org/file/secure/modbusprotocolspecification.pdf>
14. Espressif Systems. ESP8266EX Datasheet [Електронний ресурс].
https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf
15. Espressif Systems. ESP32 Series Datasheet [Електронний ресурс].
https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ДОДАТОК А

```

esphome:
  name: powmr-6-2
  friendly_name: PowMr_6_2
esp8266:
  board: d1_mini
api:
  encryption:
    key: !secret api_encryption_key
ota:
  - platform: esphome
    password: !secret ota_password
wifi:
  ssid: !secret wifi_ssid
  password: !secret wifi_password
  manual_ip:
    static_ip: 192.168.0.97
    gateway: 192.168.0.1
    subnet: 255.255.255.0
logger:
  level: DEBUG
  baud_rate: 0
uart:
  - id: uart_inverter
    baud_rate: 9600
    tx_pin: GPIO1
    rx_pin: GPIO3
    data_bits: 8
    parity: NONE
    stop_bits: 1
modbus:
  - id: modbus_inverter
    uart_id: uart_inverter
modbus_controller:
  - id: smg_inverter
    address: 0x01
    modbus_id: modbus_inverter
    setup_priority: -10
    offline_skip_updates: 60
    update_interval: 2s
text_sensor:
  - platform: modbus_controller
    modbus_controller_id: smg_inverter

```

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ			
Розроб	Рудавський В.Я				Автоматизована система керування та моніторингу енергозабезпечення будинку / Automated system of control and monitoring of the energy supply of the house.	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Заставний О.							
Консульт	Заставний О.					ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-42/1		
Н.Контроль	Заставний О.							
Затвердив	Сегін А.І.							

```

name: "Working Mode"
  id: working_mode
address: 201

entity_category: diagnostic
  register_type: holding
  response_size: 2
  raw_encode: HEXBYTES
  lambda: |-
    uint16_t value = modbus_controller::word_from_hex_str(x,
0);

    switch (value) {
      case 0: return std::string("Power On Mode");
      case 1: return std::string("Standby mode");
      case 2: return std::string("Mains mode");
      case 3: return std::string("Off-Grid mode");
      case 4: return std::string("Bypass mode");
      case 5: return std::string("Charging mode");
      case 6: return std::string("Fault mode");
      default: return std::string(x);
    }
    return x;
sensor:
  - platform: uptime
    name: "Uptime"
    entity_category: diagnostic
    device_class: duration
    update_interval: 60s
  - platform: modbus_controller
    modbus_controller_id: smg_inverter
    name: "Effective mains voltage"
    id: effective_mains_voltage
    address: 202
    register_type: holding
    value_type: S_WORD
    state_class: measurement
  - platform: modbus_controller
    modbus_controller_id: smg_inverter
name: "Average mains power"
  id: average_mains_power
  address: 204
  register_type: holding
  value_type: S_WORD
  state_class: measurement
  device_class: power
  - multiply: 0.1
  - platform: modbus_controller
    modbus_controller_id: smg_inverter
    name: "Inverter current"

```

id: inverter_current
address: 206
register_type: holding

value_type: S_WORD
state_class: measurement
unit_of_measurement: "A"
device_class: current
accuracy_decimals: 1
filters:
unit_of_measurement: "W"
device_class: power
accuracy_decimals: 1
- multiply: 0.1
- platform: modbus_controller
modbus_controller_id: smg_inverter
name: "Battery average power"
id: battery_average_power
address: 217
register_type: holding
value_type: S_WORD
state_class: measurement
unit_of_measurement: "W"
device_class: power
accuracy_decimals: 1
- platform: modbus_controller
modbus_controller_id: smg_inverter
name: "PV average voltage"
id: pv_average_voltage
address: 219
- multiply: 0.1
- multiply: 0.1
- platform: modbus_controller
modbus_controller_id: smg_inverter
name: "PV charging average power"
id: pv_charging_average_power
address: 224
register_type: holding
value_type: S_WORD
state_class: measurement
unit_of_measurement: "W"
device_class: power
accuracy_decimals: 1

					ДП.АКІТ.10994387.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		63

