

УДК 004.896

DOI: 10.31673/2412-9070.2022.042228

А. В. ЗАЯЧКОВСЬКИЙ¹, студент;В. М. ЗАЯЧКОВСЬКИЙ², докторант;К. П. СТОРЧАК¹, доктор техн. наук, професор;Д. О. СТОРЧАК¹, студентка,¹ Державний університет телекомунікацій, Київ,² Могилів-Подільський фаховий монтажно-економічний коледж

ІНТЕГРАЦІЯ ПОСТАЧАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА «РОЗУМНОМУ» РОЗПОДІЛЬНОМУ ЩИТІ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ ІОТ

Сучасне керування електроенергією постачання сонячної енергії на «розумному» розподільному щиті значною мірою залежить від Інтернету речей (ІоТ). Досі складно створити практичні, доступні інтелектуальні системи моніторингу стану, захисту та контролю на «розумному» розподільному щиті розподільних мереж.

Розумні мережі використовують можливості інформаційних і комунікаційних технологій, особливо Інтернету речей для покращення стійкості, якості і продуктивності виробництва енергії та прогнозування попиту, а також зменшення споживання ресурсів та збільшення інтеграції відновлюваних джерел енергії. Продуктивність розробленої системи оцінюється для різноманітних житлових електричних навантажень із різними моделями енергоспоживання на «розумному» розподільному щиті.

У цьому проєкті фотоелектричні системи стеження, а також системи очищення будуть підімкнені до смарт-плати. Усі вхідні дані будуть зібрані та надіслані через Bluetooth/Wi-Fi за допомогою робочого прототипу, побудованого на платі Arduino, який може самостійно збирати та контролювати вироблені в режимі реального часу енергетичні та екологічні умови сонячних станцій. Мобільний застосунок також використовується, щоб дати змогу окремим користувачам контролювати систему в режимі реального часу, сповіщати користувачів про проблеми з електричною системою, відображати споживання енергії в режимі реального часу та надавати інші важливі сповіщення та попередження для віддаленого користувача у разі відхилення параметрів якості виробництва сонячної енергії від попередньо визначеного набору стандарту значення. Також запропоновано низку вдосконалень для подальшої інтеграції з технологіями Інтернету речей (ІоТ) та «розумного будинку».

Ключові слова: Інтернет речей; «розумний» розподільний щит; відновлювальна енергія; фотоелектрична станція; ІоТ; хмара; сенсорна мережа; моніторинг у реальному часі; мікроконтролер ESP32; система збору даних.

ВСТУП

Останніми роками в усьому світі стрімко зростає впровадження більш чистих та відновлюваних джерел енергії, а отже, сонячна енергія стає дедалі популярнішим вибором для виробництва електроенергії. Однак ефективність сонячних панелей може знижуватися через такі чинники, як погодні умови, бруд та сміття, тому потрібно знайти більш стійкі, ефективні та чисті вирішення, аби задовольнити енергетичні потреби сучасного суспільства. Серед відновлюваних джерел енергії сонячна енергія вважається найцікавішим джерелом, яке може зрівноважити розрив між споживанням і виробництвом завдяки значному зниженню його вартості і прогресу в цій технології [1]. Для подолання різноманітних проблем і забезпечення оптимальної продуктивності можна розробити автономну станцію електропостачання на основі сонячних модулів з інтеграцією технологій Інтернету речей (Internet of Things, ІоТ). Оскільки потреби в енергії постійно зростають, призводячи до надмірного споживання викопних енергетичних ресурсів, то із сучасними системами моніторингу та контролю ця технологія стане надійним джерелом енергії [2].

Огляд останніх досліджень та публікацій. Розвиток обчислювальної здатності, хмарних технологій, аналітики, безпроводового зв'язку дає змо-

гу фізичним об'єктам обмінюватись інформацією з мінімальним втручанням людини. Сьогодні цифрові системи можуть записувати, відстежувати та налаштовувати будь-яку взаємодію між підімкненими об'єктами, розв'язуючи безліч складних завдань. Відбулося налаштування співробітництва між цифровими та фізичними світами. Інтернет речей використовує безліч мережних протоколів для доступу в інтернет, спрощуючи підімкнення різноманітних давачів до хмари та інших речей задля ефективного передавання даних. Стали доступнішими хмарні платформи, які забезпечують споживачам та підприємствам легкий доступ до інфраструктури, потрібної для масштабування, без необхідності керувати нею [3].

Метою дослідження є удосконалення методу підтримання ухвалення рішень під час розроблення предметної сфери сучасного керування електроенергією постачання сонячної енергії на «розумному» розподільному щиті, що здебільшого залежить від Інтернету речей. А отже, розумна мережа має змогу використовувати можливості інформаційних і комунікаційних технологій, особливо ІоТ, аби поліпшити стійкість, якість і продуктивність виробництва енергії та прогнозування попиту, а також зменшити споживання ресурсів зі збільшенням інтеграції відновлюваних джерел енергії.

© А. В. Заячковський, В. М. Заячковський, К. П. Сторчак, Д. О. Сторчак, 2022

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Запропонований метод підтримання ухвалення рішень у процесі розроблення предметної сфери сучасного керування електроенергією постачання сонячної енергії на «розумному» розподільному щиті передбачає передавання даних, яке відбувається за такими етапами:

- перший етап — розроблення інформаційної системи починається з дослідження предметної сфери і побудови сучасного керування електроенергією постачання сонячної енергії на «розумному» розподільному щиті та перетворення ресурсів «як є»;

- на другому етапі здійснюється розроблення та побудова автономної електростанції на основі сонячних модулів з інтеграцією технологій IoT «як є» з метою виявлення «вузьких місць» в організації процесів, які уможливають зменшення залежності від невідновлюваних джерел енергії, підвищать ефективність та продуктивність сонячних панелей, а також економічно дієве та безперебійне електропостачання, що дасть значну економію енергії та зменшить вуглецевий слід.

Інтеграція технологій Інтернету речей

Завдяки впровадженню датчиків на сонячних панелях продуктивність можна контролювати та оптимізувати в режимі реального часу за допомогою IoT. Це дає змогу заздалегідь виявляти будь-які проблеми та негайно вживати заходів для їх усунення. Система також може бути спроектована з автоматизованим комплексом очищення сонячних панелей для підтримання їхньої ефективності та продовження терміну служби. Із використанням Інтернету речей систему очищення можна створювати з огляду на погодні умови і показання датчиків, забезпечуючи ефективне використання ресурсів і максимізуючи продуктивність системи. Розумні мережі використовують можливості інформування та комунікаційні технології для поліпшення стабільності, якості та балансу виробництва енергії і прогнозування попиту, тоді як відбувається скорочення ресурсів споживання. Комунікаційні технології також допомагають розумній мережі інтегрувати відновлювані джерела енергії.

Інтернет речей — це концепція мережі, сформована із взаємозв'язаних фізичних пристроїв, що мають вбудовані датчики, а також програмне забезпечення, яке за допомогою використання стандартних протоколів зв'язку дає змогу здійснювати передавання та обмін даними між фізичним світом і комп'ютерними системами в автоматичному режимі [4; 5].

Інтернет речей відіграє вирішальну роль у повсякденному житті людей, забезпечуючи зв'язок багатьох інтелектуально поєднаних між собою фі-

зичних пристроїв через інтернет, створюючи нові види спілкування між речами та людьми, а також для обміну даними для моніторингу і керування пристроями з будь-якого місця землі за допомогою підімкнення до інтернету [3]. Крім того, зв'язок між машинами чи різними пристроями можливий без втручання людини за допомогою застосунків IoT [4].

Ідея принципу IoT полягає в підімкненні датчиків і пристроїв спеціальної системи на загальній мережі через проводові або безпроводові вузли. З огляду на потреби найближчого майбутнього, де кожен пристрій буде розумним, автоматизованим і підімкненим через інтернет, сьогодні широко застосовуються безпроводові системи на основі IoT, аби уникнути ризиків, пов'язаних із проводовими системами.

Автономне перемикання живлення

Для забезпечення безперебійного електроживлення система може бути спроектована з функцією автономного перемикання живлення, яка автоматично перемикатиметься між різними джерелами живлення (сонячною батареєю, акумулятором, електромережею) залежно від наявності та потреб. Це гарантує, що система завжди використовуватиме найбільш ефективне та економічно вигідне джерело живлення, а також може запобігти перевантаженню та пошкодженню системи.

Оскільки дані потрібно збирати, обробляти, зберігати й аналізувати в установці IoT, то як недорогий конвеєр даних для моніторингу електричних і екологічних параметрів у розробленій нами фотоелектричній станції пропонується плата ESP32 DEVKIT V1.

У запропонованій системі моніторингу ESP32 DEVKIT плата V1 діє як мікроконтролер, котрий отримує і обробляє дані, що надходять від різних датчиків, а потім передає оброблені дані в хмару та сервери через вбудований Wi-Fi. Передавання даних відбувається в два етапи: першим кроком є зв'язок між датчиками та контролером через протокол інтегрованої схеми (I2C); другий крок — це зв'язок між контролером і застосунком хмарної служби через протокол Wi-Fi.

Дані, зібрані різними датчиками, зберігаються у хмарі (вебсервері) або локально. Обмін базується на запитах клієнта та сервера. Клієнт запускає HTTP-запит, а сервер повертає відповідь. Цей протокол визначає зв'язок між різними частинами мережі [5]. Схему запропонованого вирішення IoT, який використовується для моніторингу фотоелектричних установок, зображено на рис. 1.

Систему сформовано з двох основних компонентів: апаратного інтерфейсного модуля та програмного комунікаційного модуля. Апаратне забезпечення системи розроблено відповідно до дизайну

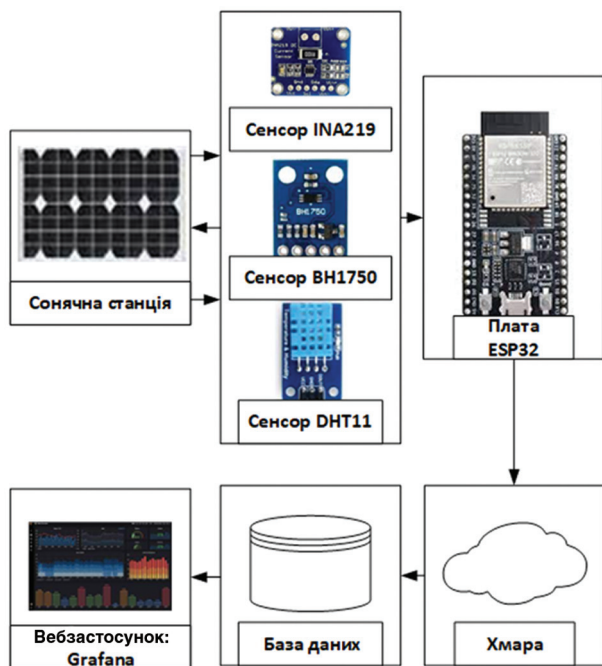


Рис. 1. Структурна схема керування та моніторингу стану системи

моделювання з використанням програмних засобів Fritzing та Arduino IDE. Електронні компоненти побудовані на макетній платі, щоб краще зрозуміти схему підключення апаратного забезпечення.

У центрі системи встановлено мікроконтролер Arduino. Усі елементи керування системою та зв'язок обробляються мікроконтролером. Система на основі IoT збирає дані з певних сегментів, зокрема напругу (V), струм (I) і потужність (P). Ці результати можна переглядати через мобільний застосунок або рідкокристалічний дисплей (LCD). Система керування використовує дані, зібрані датчиками, для визначення споживання житлових навантажень і вимикає будь-яке навантаження в разі перевищення встановленого граничного струму або потужності [6]. Схему такої системи унаочнює рис. 2.

Розглядувана система здатна кожної секунди оновлювати дані вимірювань на інформаційних панелях GRAFANA, але варто зазначити, що під час надсилання сповіщень поштою відбувається затримка [7].

Для оптимізації енергоефективності в електростанцію можна інтегрувати систему керування енергоспоживанням на основі штучного інтелекту. Ця система може вивчати моделі використання енергії та вносити корективи для оптимізації енергоефективності. Аналізуючи дані з датчиків і джерел живлення, система на основі штучного інтелекту може прогнозувати попит на енергію і відповідно регулювати вихідну потужність. Усе це має ефективну вартість і здатність добре виконувати моніторинг великих сонячних електростанцій із невеликими змінами у використовуваних

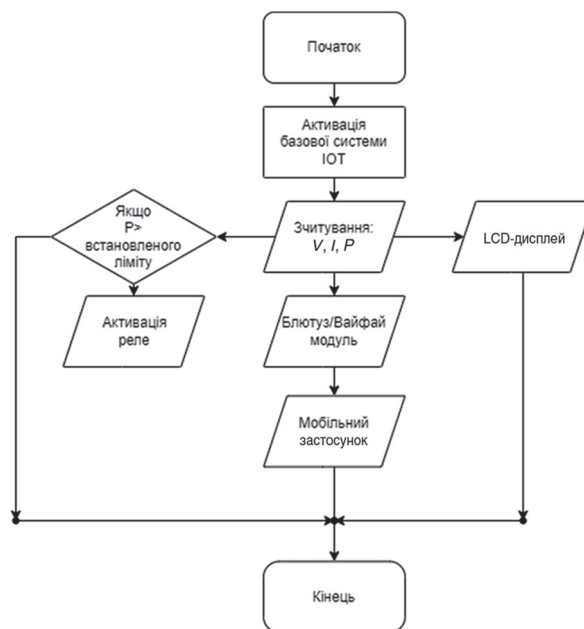


Рис. 2. Схема розумної системи розподілу живлення

електричних датчиків [8], а отже, зумовлюватиме значну економію енергії та зменшення загального вуглецевого сліду.

Переваги автономної електростанції

Розроблення автономної електростанції на основі сонячних модулів з інтеграцією технологій IoT може забезпечити такі переваги:

- зменшення залежності від невідновлюваних джерел енергії;
- підвищення ефективності та продуктивності сонячних панелей;
- економічно ефективно та безперебійне електропостачання;
- значна економія енергії та зменшення вуглецевого сліду;
- стає та надійне джерело енергії для майбутнього.

ВИСНОВКИ

Завдяки впровадженню розглянутих функцій, зокрема моніторингу та оптимізації Інтернету речей, автономне перемикання живлення та керування енергією на принципах штучного інтелекту, можна розробити автономну електростанцію на принципах сонячних модулів, яка забезпечить стійке та надійне джерело енергії в майбутньому. Зменшуючи нашу залежність від невідновлюваних джерел енергії та підвищуючи ефективність сонячних панелей, можна створити більш стійку та екологічно чисту енергетику.

З огляду на проведені дослідження було запропоновано наведені далі вдосконалення.

- Упровадити датчики на сонячних панелях для моніторингу та оптимізації їх роботи в режимі реального часу за допомогою IoT.

- Розробити автоматизовану систему очищення сонячних панелей для підтримання їхньої ефективності та продовження терміну служби.

- Розробити мобільний застосунок, який надаватиме користувачам у режимі реального часу інформацію про стан станції електропостачання, включно з вихідною потужністю і ємністю акумулятора.

- Створити систему, яка може автоматично перемикатися між різними джерелами живлення (сонячними батареями, акумуляторами, мережею) залежно від наявності та попиту.

- Інтегрувати систему прогнозування погоди для прогнозування потужності сонячних панелей та відповідної оптимізації зберігання енергії.

- Упровадити систему керування енергоспоживанням на основі штучного інтелекту, яка може вивчати моделі використання енергії та вносити корективи для оптимізації енергоефективності.

- Використовувати технологію блокчейн для створення децентралізованої мережі електростанцій, які можна здавати в оренду користувачам за певну плату.

- Розробити систему предиктивного технічного обслуговування, яка може виявляти та діагностувати потенційні проблеми до того, як вони стануть критичними, використовуючи алгоритми машинного навчання.

- Інтегрувати систему дистанційного керування, яка дасть змогу користувачам вмикати/вимикати електростанцію та контролювати її роботу з будь-якого місця.

- Упровадити систему безпеки, яка виявитиме та запобігатиме будь-якому несанкціонованому доступу до станції електроживлення або її даних.

Список використаної літератури

1. Мадеті С. Р., Сінгх С. Н. Система моніторингу для фотоелектричних установок: огляд //

Renew Sustain Energy Rev. 2017. 67. P. 1180–1207. URL:

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.088>

2. Глобальні сучасні системи моніторингу для виробництва електроенергії на основі фотоелектричної системи: огляд / М. М. Рахман, Дж. Селварадж, Н. А. Рахім, М. Хасануззаман // *Renew Sustain Energy Rev.* 2018. 82. P. 4142–4158. URL:

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.111>

3. Що таке IoT простими словами? URL: <https://www.atiko.com.ua/articles-ua/chto-takoe-iot-prostymi-slovami/>

4. Андрощук Г. Інтелектуальна власність у системі Інтернету речей: економіко-правовий аспект // *Теорія і практика інтелектуальної власності.* 2017. №6. С. 68–78.

5. Брайчевський С. М. Проблема персональних даних в системах Інтернету речей з елементами штучного інтелекту // *Інформація і право.* 2019. №4 (31). С. 61–67.

6. Система моніторингу працездатності сонячної фотоелектричної панелі: програма Інтернету речей / Р. М. Vadave, В. Karthikeyan, S. M. Vadave [et al.] // *Досягнення інтелектуальної мережі та відновлюваної енергії.* 2018. С. 347–355.

7. Інтелектуальний сонячний фотоелектричний блок віддаленого моніторингу та керування на базі IoT / S. Adhya, D. Saha, A. Das [et al.] // 2-га Міжнар. конф. з контролю, приладобудування, енергетичного зв'язку (CIEC). 2016. С. 432–436. URL:

<https://doi.org/10.1109/ciec.2016.7513793>.

8. Технологічний огляд зарядних станцій постійного струму для електромобілів з використанням фотоелектричних джерел / К. Юссеф, Е. Фатіма, Е. Найя, А. Чакіб // *IOP Conf. Ser Mater Sci Eng* 353(1):012014. 2018. URL:

<https://doi.org/10.1088/1757-899x/353/1/012014>

A. V. Zaiachkovskiy, V. M. Zaiachkovskiy, K. P. Storchak, D. O. Storchak

INTEGRATION OF SOLAR ENERGY SUPPLY ON A SMART DISTRIBUTION BOARD BASED ON IoT SYSTEM

Modern electricity management of solar power supply at the smart distribution board is heavily dependent on the Internet of Things (IoT). It is still difficult to create practical, affordable intelligent systems for condition monitoring, protection and control at the smart distribution board of distribution networks.

Smart grids use the capabilities of information and communication technologies, especially the Internet of Things, to improve the sustainability, quality and productivity of energy production and demand forecasting, as well as to reduce resource consumption and increase the integration of renewable energy sources. The performance of the developed system is evaluated for a variety of residential electrical loads with different energy consumption patterns on a smart distribution board.

In this project, the photovoltaic tracking system as well as the cleaning system will be connected to the smart board. All the input data will be collected and sent via Bluetooth/Wi-Fi by a working prototype built on an Arduino board, which can independently collect and monitor the real-time energy and environmental conditions of solar plants. The mobile application is also used to allow individual users to monitor the system in real time, notify users of electrical system problems, display real-time energy consumption, and provide other important notifications and alerts to the remote user when there is a deviation of solar power production quality parameters from a predefined set of standard values. A number of improvements are also proposed for further integration with Internet of Things (IoT) and smart home technologies.

Keywords: Internet of Things; smart switchboard; renewable energy; photovoltaic power plant; IoT; cloud; sensor network; real-time monitoring; ESP32 microcontroller; data acquisition system.