

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.3

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/05>**Бодак Є.Є.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Лебедев Д.Ю.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

У роботі розглянута концепція побудови пристрою, який представляє з собою систему контролю енергоспоживання від відновлювальних джерел енергії. Розглянуто декілька можливих комплектацій в залежності від вимог. У роботі вказано структурні схеми та алгоритми роботи елементів системи, подано концепцію програмного забезпечення для контролю енергоспоживання. Сама робота має змінити ваші погляди на всі автономні прилади та системи, з метою їх покращення та модернізації. У роботі проаналізовано склад сучасних систем контролю енергоспоживання відновлювальних джерел енергії та принципи їх роботи. Також в цій роботі описані головні проблеми вже розроблених систем та їх аналогів. Розгляд цих проблем стане корисним і як для модифікації існуючих систем так і для розробки нових підходів пов'язаних з темою цієї роботи.

Відповідно тому, з якою швидкістю йде розвиток в сфері енергетики, ІТ, інженерії ми зобов'язані донести наші ідеї і напрацювання до кожного хто б це не був. Відновлювальна енергетика це сфера яка тільки починає розвиватися в Україні, тому потрібно розробляти актуальні на наш час рішення. Розробки нашої держави повинні стати передовими у світі, як у сфері авіації, космонавтики та сільсько-господарського виробництва. Поширення видобутку енергії з відновлюваних джерел енергії позитивно впливає на економіку країни та комунальні послуги, тобто розробки в цій сфері є покращенням для споживачів та постачальників. Зелений тариф, який вже не новизна для нас, може стати доступним кожному, а не лише для середнього та великого бізнесу, тобто кожен може стати постачальником енергії, при цьому зникає монополія на енергетичні ресурси. Враховуючи, що на різних ділянках різні умови для роботи генераторів, перспективним є створення сервісу аналізу показників для вибору найбільш ефективних територій на яких краще використовувати генератори: вітряні, сонячні, гідроелектростанції.

Ключові слова: система контролю, електростанція, автономні прилади, вітряні електростанції, сонячні електростанції, гідроелектростанції.

Постановка проблеми. Огляд ринку відновлювальних джерел енергії показує, що системи контролю енергоспоживання саме у відновлювальній енергетиці перестали модернізуватися та оптимізуватися елементи інтелектуального управління. Використання побутових інверторів і примітивних контролерів, саме з цим стикаються люди на момент пошуку.

Розробка компактної електростанції складається з компонентів, що крок за кроком відповідають за отримання, перетворення, накопичення, вивільнення природної енергії. Отримана енергія від генераторів потрапляє до контролера,

який розподіляє заряд по блокам акумуляторів. Накопичена енергія потрапляє до інвертора, а від нього до споживача. Від кількості підключень залежить складність системи, але використовувати комбіновані генератори потрібно належним чином.

Комбінованих контролерів досить мало [1], а коли користувач хоче отримувати достатню кількість енергії він починає об'єднувати різні системи в одну. Додатковою причиною розробки є витрати на готові рішення та відсутність методів аналізу роботи системи. Тому головними проблемами дослідження є:

- Значні витрати на систему для великих об'ємів енергії
- Відсутність методів діагностики
- Відсутність модернізацій без впливу на закріплену гарантію.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед постачальників електростанцій може виділити три групи:

- Перша група займається повним розрахунком та встановленням систем, це фірми: Eco Tech, Green West, Sunsay Energy, Solar System, Kworum, Alteco.
- Друга група є постачальником комплектів для встановлення самостійно: Sun Servis, Ніка-Грант, TERMOS.
- Третя група це продукція вузького спрямування, тобто окремі комплектуючі системи, наведення вони не потребують так як їх занадто багато і вони нічим не виділяються на відміну від двох попередніх груп.

Майже всі постачальники мають примітивну електричну схему, малий простір для зміни налаштувань [2]. Одиниці мають хоча б систему віддаленого контролю та логіку для аварійних ситуацій. Системи які коштують з 6000 до 7000\$ не сильно відрізняються від тих самих систем за 1000\$, такий сильний вплив на ціну пов'язаний з різною потужністю.

Окремо розглянемо, що пропонують на ринку передові компанії. Серед постачальників сонячних електростанцій виділяються Green West, Sunsay Energy, Solar System, Sun Servis, Ніка-Грант, TERMOS, серед вітряних постачальників лише Kworum та гібридними системами займаються Alteco, Eco Tech.

Наш напрямок розробки це автономні гібридні електростанції. Alteco має певні комплектації різні по потужності, ось приклад (рис. 1):

Найменування	Вартість, \$.
Вітрогенератор Flamingo Aero - 6.7 (4 кВт) – 1 шт.	8 360,00
Щогла для вітрогенератора (23 м) – 1 шт.	3 356,00
Сонячна батарея LDK solar 250PA – 12 шт.	2 664,00
Контролер заряду Xantrex XW-MPPT 60-150 – 1 шт.	584,93
Інвертор с ЗП Солехт 6,8 kW 48VDC 230VAC XW8548E – 1 шт.	3 816,75
Акумуляторна батарея SIAP PzS 4 APH 500 (2В 500А) – 48 шт.	7 510,00
Всього:	26 291,68

Рис. 1. Приклад комплекту на встановлення

Ціна такого комплекту занадто велика навіть для потужності в 6.7 кВт. По розрахунку, для отримання такої потужності з наших систем знадобиться 4 контролера, так це більше чим пропо-

нує Alteco, але наші 4 контролера підключаються між собою і не потребують додаткових налаштувань, вони можуть бути як окремими джерелами на вашій ділянці так і одним джерелом. Вартість однієї системи з сонячною панеллю і вітрогенератором 1600 \$, $1600 * 4 = 6400$ \$, різницю в ціні видно. Контролер, який постачає Alteco має пам'ять історії на 128 днів, в той час наша система зможе берегти дані на протязі декількох років з можливістю аналізу роботи та виведенням графіків споживання.

Постановка завдання. З попереднього розділу ми отримали підтвердження головних проблем і можемо сформулювати їх рішення. Додатково, споживач має бути рішучим, щоб перейти повністю на зелену енергетику, але таке трапляється дуже рідко, особливо на момент розрахунку скільки це буде коштувати, тому додатковою задачею є зацікавлення майбутнього користувача.

- Розробка приладу та його опис
- Розробка інтерфейсу
- Розробити засіб розширення системи

Виклад основного матеріалу по розробці. Розглянемо розроблювану систему від самого початку. На вході системи є два джерела, це сонячна панель на 400-600 Вт та вітряний генератор на 1-2 кВт. Наступним елементом після генератора є контролер заряду і розподілу енергії. Сам контролер (рис. 2) має складатися з двох відсіків: акумуляторний, керувальний.



Рис. 2. Ескіз контролера

Як показує практика краще всього використовувати гелеві акумулятори, вони стійкі до глибоких розрядів та компактні. В залежності від того в яких умовах експлуатації буде акумуляторний відсік, можна встановити час його роботи на відмову.

Принципова схема інвертора, який входить до блоку керування разом із контролером, наведена у [3] на 3 кВт, генератор виконаний на мікросхемі IC1 – TL081, далі через вузли мікросхем частота

ділиться надвоє і виходить вже два протифазні сигнали на затвори драйверів вихідних ключів.

Далі з драйвера сигнал надходить на затвори силових ключів, виконаних на IRF3205, по 8 штук у кожному плечі. Особливо хочеться відзначити живлення генератора і драйвера, яке здійснено стабілізатором на 9 В [4], на яке надходить напруга близько 24 В, яку подає генератор, що підвищує напругу, на мікросхемі IC10, далі через підсилювач подається на помножувач і випрямляч напруги на діодах D8-D1. Зроблено це для того, щоб при падіннях напруги живлення ключів і генератора було стабільно 9 вольт, яке при великих навантаженнях може впасти до небезпечного мінімуму порога включення ключів і привести до пробою силових ключів. Більшість пробоїв ключів саме від того, що при великому навантаженні “просідає” напруга відкриття польових транзисторів. В інверторі є захист від перевантаження, короткочасне пікове навантаження може досягати до 6 кВт. У схемі є захист від перевантажень по виходу, є захист у вигляді запобіжника на 250 А і датчик струму транзисторів у вигляді опору R20, з нього знімається сигнал для управління захисту по струму який потрібен контролеру.

Система (рис. 3) базується на мікроконтролері STM32f401 [5]. Контролер, за рахунок програмної логіки та інтерфейсу керує зарядом акумулятора [6], а також імпортує дані: вхідної та вихідної напруги, частоти на виході, відсотку заряду акумулятора. Програмна логіка розраховує параметри для зручного користування. Також разом з контролером працює ESP32, який використовується для отримання даних від STM, та надсилання їх на сервер.

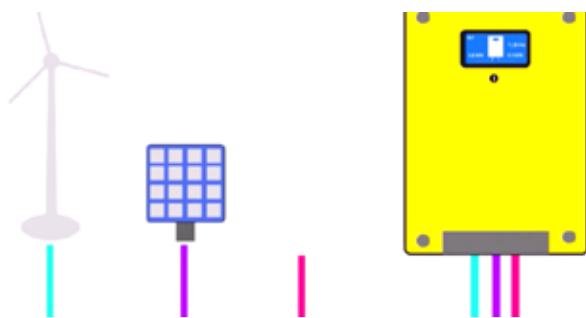


Рис. 3. Ескіз системи

Комунікація з контролером відбувається по каналам Wi-Fi та RS485. Фізичний інтерфейс потрібен для обміну даних між контролерами, які входять до різних систем.

Контролери передають дані між собою для сповіщення користувача про готовність системи і передачі показників роботи. Поки один із контр-

олерів в режимі підзарядки від джерела, то другий має переключатися в режим експорту енергії, тим самим виграти час для першого контролера. Якщо потреби мережі більші ніж може дати один контролер, то на експорт перемикаються всі можливі. Тобто вирішена проблема з розширенням системи без втручання та впливом на гарантію.

Інтерфейс користувача може бути у любому виконанні, але важливо винести основні дані на екран. Зображення параметрів доступне на дисплеї контролера (рис. 4–8), сервері, сайті користувача, та мобільному додатку.

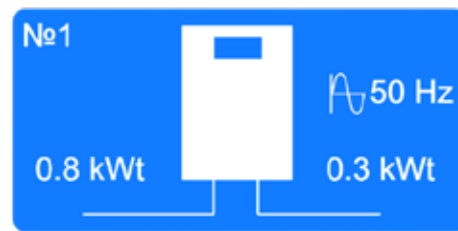


Рис. 4. Ескіз інтерфейсу № 1

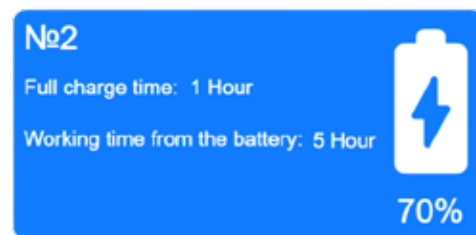


Рис. 5. Ескіз інтерфейсу № 2

Прилад передає не оброблені дані для збереження в базу даних і на їх основі проводяться розрахунки. Деякі дані розрахувати в реальному режимі часу не має можливості. Наприклад, швидкість вітру, ми маємо розрахувати дані генерації, які надсилаються на базу з певною затримкою, тому точний розрахунок ми проводимо на приладі, а сервер методом порівняння потужності генерації виводить дані. Скорочення обсягу даних передачі пов'язане з кількістю пакетів які потрібно надсилати за один період зчитування.

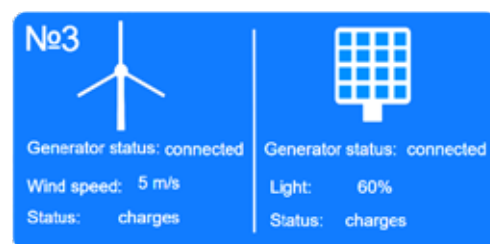


Рис. 6. Ескіз інтерфейсу № 3

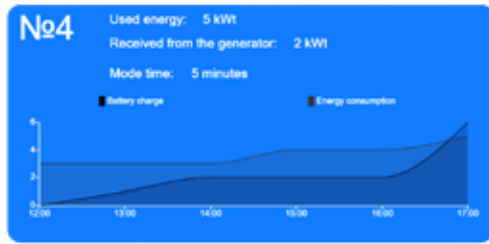


Рис. 7. Ескіз інтерфейсу № 4

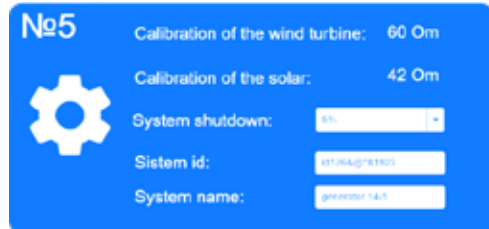


Рис. 8. Ескіз інтерфейсу № 5

За основу бази даних використовуємо платформу firebase, також на цій платформі ми можемо розмістити хостинг. Платформа зручна тим, що розробка для візуальної і функціональної частини коду може виконуватись на всіх доступних мовах програмування. Для роботи з приладами є готові бібліотеки для пришвидшення розробки, так ESP32 можна під'єднати до бази за лічені години, використовуючи ідентифікатор бази яку ви створили. Дані можна розподіляти по текам, проводити розрахунки та відобразити їх у графічній частині. На рисунку 9 зображено ескіз мобільного додатку а на рисунку 10 ескіз інтерфейсу серверної частини.

Систему можна комбінувати та розширювати (рис. 11), тим самим вирішується проблема значних витрат на великі об'єми, так як ціна комплекту статична. Наведемо можливі типи з'єднання системи (рис. 12).



Рис. 9. Ескізи інтерфейсу мобільного додатку



Рис. 10. Ескіз інтерфейсу серверної частини



Рис. 11. Блок-схема з'єднання елементів системи

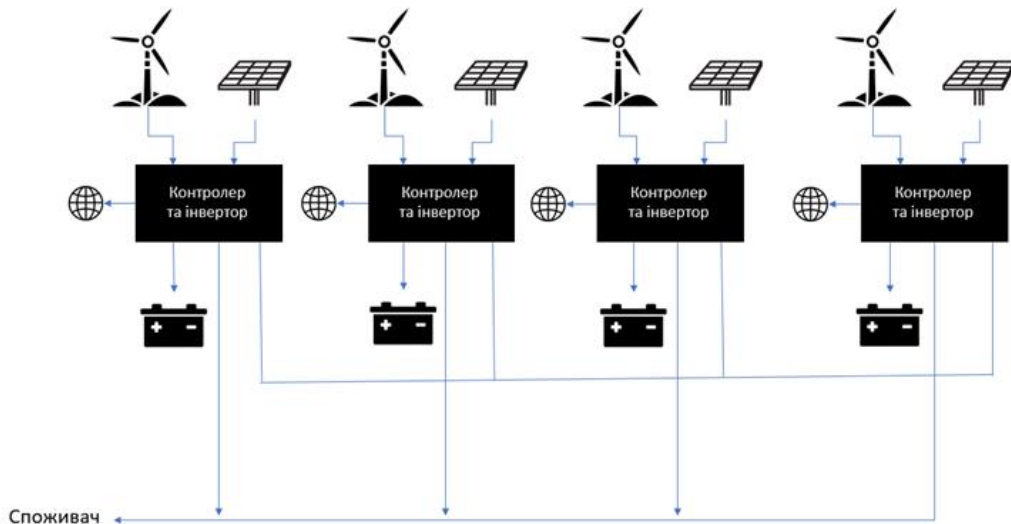


Рис. 12. Блок-схема з'єднання для «енерго ферми»

В першому варіанті ми отримуємо контролер, два генератора, в сумі система на виході матиме 1-2 кВт, цього достатньо для невеликого дому або майстерні. У випадку недостатньої потужності, контролер можна доповнити ще одним комплектом і розширити то потрібного енергоспоживання.

У випадку розширення до ферми, алгоритм роботи змінюється, система аналізує яка енергогенерація та задає потрібну кількість контролерів. Доречно розширити функціонал системи, так як потрібно багато гнучких налаштувань та додаткові порти підключення. Одним із різновидів використання системи може стати встановлення контролера у багажний відділ автомобілю і перевезення сонячної панелі, це може стати універсальним рішенням для виїзду на природу, подорожі або для проведення ремонтних робіт у місцях де відсутня електроенергія.

Серед функцій систем потрібно відмітити наступні можливості, які потрібні додати.

Енергозберігаючий режим потрібен для відключення живлення дисплею в час коли інформація користувачеві не потрібна та в нічний час, так як перегляд даних можливий з мобільного додатку.

Функція виявлення джерела за наявності опору обмоток генератора, система повинна ідентифікувати нове з'єднання автоматично.

Перезавантаження системи по внутрішньому таймеру потрібне у разі зависання системи при виконанні не повної програми.

Статистика споживання за день, місяць, рік з підсумками для аналізу споживачем.

Калібрування генератора у випадку, якщо користувач отримує не вірні дані. Калібрування можна запустити в ручну, або встановити автокорекцію, щоб система сама виявляла прорахунки.

Захист від відключення, система дає сигнал, що майже розряджена і генерації немає.

Встановлення відсотку збереження, це продовження попередньої функції, значення встановлене користувачем і не може бути меншим ніж 5% від заряду, тому що контролер живиться від цієї енергії себе, і у разі появи генерації система зможе продовжити роботу.

Висновки. Розробка системи контролю енергоспоживання для відновлюваних джерел енергії є перспективним напрямком роботи. У статті виявлено основні проблеми електростанцій на відновлюваних джерелах енергії, проведено аналіз приладів які є на ринку, розробили опис та ескізи приладу.

Спроектвана система контролю енергоспоживання і генерації складається: портативна система яка має два входи для генераторів, можливість з'єднання з іншими системами для створення «енерго ферми» з можливістю аналізу та контролю електроспоживання в реальному часі.

Створена концепція побудови системи дозволяє перейти до безпосередньої розробки такого приладу.

Список літератури:

1. Алтухова Т.В., Скрипник С.А. Создание инновационной модели солнечно-ветрового воздушного комплекса для энергоснабжения промышленных предприятий. *Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки.* Київ: ТНУ, 2018. Том 29. № 3/2018 (68). С. 61–65.

2. Генератори GreenChip UA. URL: https://dok.ua/art-cma736ir-msg-3093770?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=9079020200&utm_content=&utm_term=&utm_id=413870348346&gclid=CjwKCAjwjOTBhAvEiwASG4bCCcVE8LGT7L5oPtgzFRhdH26Jh3k_yW5RCCzH1IUfS_uql4U6olZhoCICkQAvD_BwE
3. Схема інвертора. URL: <https://www.tool-electric.ru/2016/01/12220-3000.html>
4. Стабілізатор напруги. URL: <https://cxem.net/pitanie/5-158.php>
5. Специфікація STM32f401. URL: https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Stm32f401&gclid=Cj0KCQjwsdiTBhD5ARIsAIPW8CIfsQRa9mL_Hj6Fd3Nt4leknL6TKjLa2u02iZEIRpIfeOcp6AiXLdoaAh4PEALw_wcB
6. Приклад батареї. URL: https://secur.ua/akkumuljatornaja-batareja-energenie-12v-9ah-bat-12v9ah.html?gclid=Cj0KCQjwsdiTBhD5ARIsAIPW8CKb0oL57x2FEk2XgktKXgG8-7qqyb0ULYXj5rd16xkujSRIYyTqj3gaAgOREALw_wcB

Bodak Ye.Ye., Lebedev D.Yu. DEVELOPMENT OF ENERGY CONTROL SYSTEM FOR RENEWABLE ENERGY SOURCES

The concept of construction of the device which represents system of control of energy consumption from renewable energy sources is considered in work. Several possible configurations depending on the requirements are considered. The structural schemes and algorithms of operation of system elements are specified in the work, the concept of the software for control of power consumption is given. The work itself should change your views on all stand-alone devices and systems, in order to improve and upgrade them. The composition of modern systems of control of energy consumption of renewable energy sources and the principles of their work are analyzed in the work. This paper also describes the main problems of already developed systems and their analogues. Addressing these issues will be useful both for modifying existing systems and for developing new approaches related to the topic of this paper.

According to the speed with which we develop in the field of energy, IT, engineering, we are obliged to convey our ideas and achievements to everyone. Energy is a field that is just beginning to develop in Ukraine, so we need to develop relevant solutions today. Perhaps the development of our state will be advanced in the world, as aviation and agricultural production. The proliferation of energy from natural sources can have a good impact on the country's economy and utilities, ie developments in this area are an improvement for consumers and suppliers. The green tariff, which is no longer a novelty for us, can be made available to everyone at no extra cost. Also in the order it is specified that everyone can become the supplier of energy, that is in addition with availability the monopoly on energy disappears. Given that the sites have different conditions for the operation of generators, there may be a service with indications for which areas it is better to use generators: wind, solar, hydropower.

Key words: control system, power plant, autonomous devices, wind power plants, solar power plants, hydroelectric power plants.