

## СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

**Дзюбенко О.А.**, к.т.н., доцент кафедри автомобільної електроніки,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,  
e-mail: [dzyubenko.alan@gmail.com](mailto:dzyubenko.alan@gmail.com), ORCID: [0000-0002-0387-4956](https://orcid.org/0000-0002-0387-4956)

**Богдан Д.І.**, к.т.н., доцент кафедри деталей машин та теорії механізмів  
і машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет,  
e-mail: [phd.bogdan@gmail.com](mailto:phd.bogdan@gmail.com), ORCID: [0000-0001-5345-694X](https://orcid.org/0000-0001-5345-694X)

Сучасні тенденції ринку електроенергії та обладнання по новому перерозподіляють пріоритети до побудов систем живлення домогосподарств. Однією з основних потреб людини сьогодні є доступ до інформації і хоча лівова частина забезпечення безперебійного доступу до мережі інтернет лягла на плечі провайдерів та все ж забезпечення абонентського обладнання живленням таки проблема самих власників житла. Не слід також забувати й про те що сучасні пристрої, які призначені для того щоб обігріти оселю та приготувати їжу, теж потребують живлення. Наше постійне прагнення створити максимально енергоефективне та вуглецевонейтральне житло потребують все більш складних систем керування такими пристроями. Тож все більшу актуальність починає набувати проблема безперервного живлення системи керування будинком.

Сучасні системи відновлюваної енергії, за рахунок створення більш доступних інверторних гібридних систем, все частіше зустрічаються в приватних будинках. Розширення ринку пристроїв сонячної енергетики створюють свою екосистему для користувачів, які, маючи достатній рівень освіти, можуть самостійно поєднувати компоненти таким чином, щоб забезпечити ефективне функціонування системи при цьому витративши незначний бюджет.

Також слід зазначити вплив ситуації на ринку безперервного та автономного живлення, на сьогодні, не справдилось очікування імпортерів щодо попиту, а наповнений ринок такими пристроями викликав обвал цін цього сегменту ринку взимку цього року. Що створило значне підґрунтя для розширення когорти користувачів систем автономного енергозабезпечення.

Одним з критеріїв актуальності сучасної складної системи є наявність системи постійного моніторингу її параметрів для визначення ефективності роботи. Тож для того щоб змусити систему автономного живлення домогосподарства працювати максимально ефективно треба мати змогу моніторингу основних параметрів її роботи.

Автори зокрема розглядають варіанти оптимізації робочих параметрів сонячної системи генерації невеликої потужності здатної забезпечити живленням звичайне домогосподарство. Зазвичай така система складається з декількох фотогальванічних панелей, гібридного інвертора та набору акумуляторів.

Зрозуміло, що у кожного виробника обладнання для таких систем є свої системи моніторингу, але для оцінки повної картини ефективності роботи всієї

системи неюхідно мати дані телеметрії пристрої в одному місці й в одній часовій метриці. Слід також зауважити, що ті параметри, які виробники надають у свої вбудованих системах моніторингу, мають поверхневий характер, а для глибокого вивчення системи з подальшою її оптимізацією хочеться мати доступ до повної картини роботи пристрою.

Тож говорячи про досліджувану систему автори виділили набір основних параметрів які планують отримувати від системи з роздільною здатністю в 1 с, а саме:

- струм та напруга фотогальванічних модулів;
- струм та напруга зовнішнього живлення (мережі);
- струм та напруга акумуляторів;
- ступінь заряду акумуляторів;
- розподіл заряду за комірками акумулятора та ступінь їх зносу;
- кут нахилу фотогальванічних модулів;
- загальна генерація за добу, тиждень, місяць;
- розподіл споживання в залежності від часу доби.

### **Розробка системи моніторингу**

Моніторинг, як задача збору великої кількості даних, потребує використання сучасних електронних вимірювальних систем або інформаційно-вимірювальних комплексів (ІВК) та систем обробки і накопичення даних та контролю і візуалізації параметрів. Відповідно система моніторингу ефективності сонячної електростанції умовно складається з двох частин: інформаційно-вимірювальний комплекс та пристрій накопичення, аналізу та відображення даних.

ІВК передбачають не лише вимірювання параметрів, а і передачу вимірянних даних для подальшої обробки, тому здебільшого в їх основі лежать модулі аналого-цифрового перетворення (АЦП). Зовнішні модулі АЦП дозволяють перетворювати електричні сигнали у вигляді напруги в набір цифрових даних для подальшої обробки. Це дозволяє створювати портативні вимірювальні системи з використанням персонального комп'ютера або ноутбука як обчислювальної бази. Сучасні модулі АЦП мають USB інтерфейс підключення до комп'ютеру для налаштування, вимірювання та живлення, що робить їх енергетично незалежними від стаціонарної електричної мережі.

Другим шляхом створення вимірювальної частини є розробка ІВК з використанням сучасних мікроконтролерів. Цей спосіб має декілька переваг:

- більшість, розповсюджених в Україні, модулів АЦП виготовлялась на території країни агресора;
- середня вартість модуля АЦП складає 10...12 тис. грн., що суттєво збільшує кінцеву вартість системи моніторингу і ускладнює її окупність;
- застосування зовнішніх АЦП не відмінює необхідності використання додаткових датчиків, перетворювачів та схем узгодження сигналів;
- сучасні мікроконтролери мають в своєму складі швидкісні багатооканальні АЦП з великим набором налаштувань;
- більш оптимальний вибір апаратної частини під вирішення конкретної задачі: використання заданої кількості вимірювальних каналів, необхідної

частоти дискретизації, попередня обробка вимірюваних даних, застосувати, за необхідності, цифрових інтерфейсів, додаткових датчиків та передачі інформації.

Тому для реалізації ІВК системи моніторингу ефективності сонячної електростанції було запропоновано технічне рішення, структурну схему якого представлено на рис. 1, засноване на 32-розрядному мікроконтролері STM32.

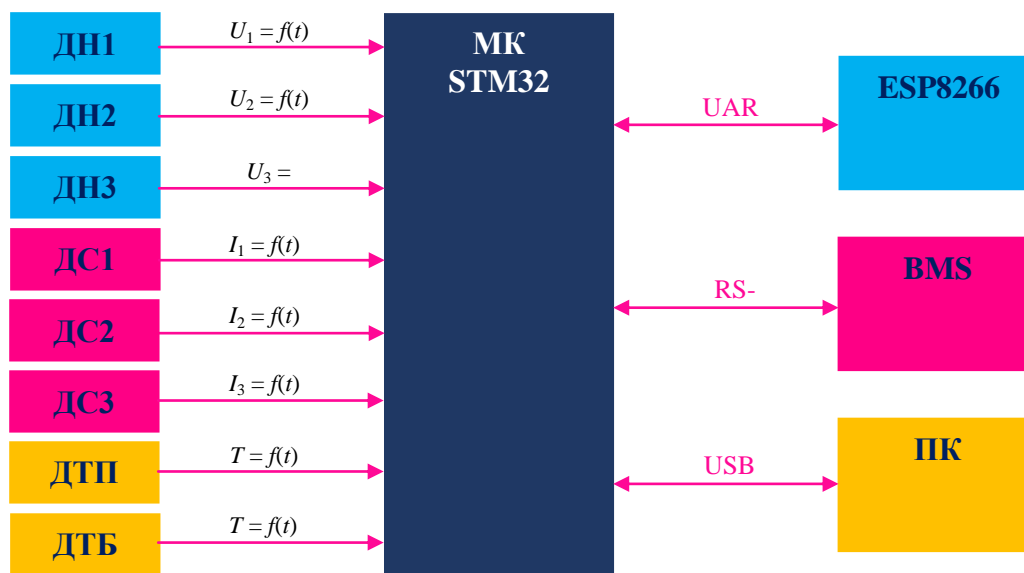


Рисунок 1 – Структурна схема ІВК

Для одночасного дослідження енергетичних характеристик сонячної електростанції було задіяно три канали для вимірювання напруги (ДН1-3), три канали для вимірювання струму (ДС1-3), два канали для вимірювання температури: поверхні ФЕП (ДТП) і АКБ (ДТБ). Інформація про стан АКБ надходить від BMS-модуля. Мікроконтролер (МК) усі виміряні данні математично обраховує відповідно до алгоритму перетворення і передає данні на локальний сервер через Wi-Fi-модуль (ESP8266) та на комп'ютер (ПК) через інтерфейс USB. Кожна точка вимірювання супроводжується часовою міткою, що дозволяє аналізувати отриманні данні відносно пори доби та положення Сонця.

Вимірювання напруги реалізовано за допомогою дільників напруги з фільтрацією сигналу і елементами захисту портів мікроконтролера. Вимірювання струму реалізовано за допомогою датчиків на ефекті Холла, що забезпечило гальванічну розв'язку між усіма енергетичними контурами. Усі вимірювальні канали ІВК мають програмне налаштування зміщення сигналу та коефіцієнту пропорційності. Усі вимірювальні канали були попередньо перевірені у всьому вимірювальному діапазоні за допомогою стабілізованого блоку живлення та еталонного, метрологічно повіреного мультиметра APPA-106. При цьому похибка виміряних даних не перевищила 2 %.

В якості серверу для збору і обробки даних було обрано Raspberry Pi3b. Такий вибір зумовлений достатньою продуктивністю цієї платформи і досить низькою її вартістю після виходу оновленої версії Raspberry Pi5.

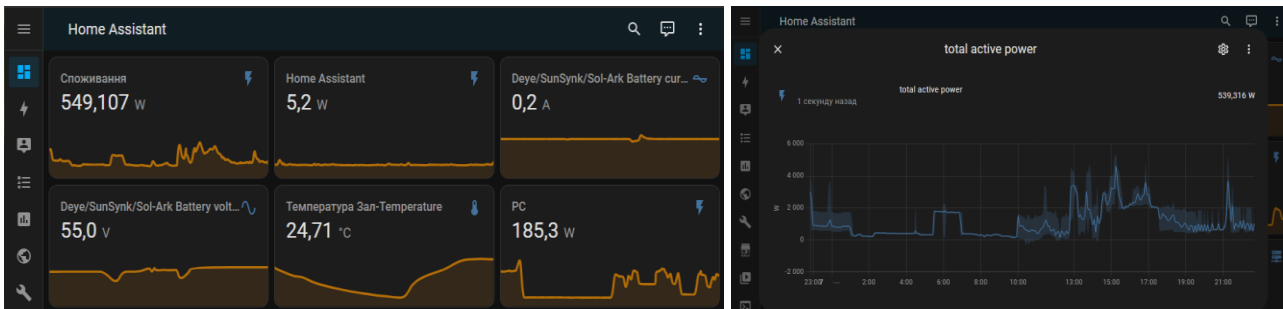


Рисунок 2 – Загальний вигляд інтерфейсу Home Assistant

Ця досить енергоефективна система споживає лише 3 Вт/год. В якості операційної системи автори обрали рішення на базі Raspberry Pi OS зі встановленою оболонкою Home Assistant (рис.2). Він має вбудований веб сервер, що дозволяє переглядати графіки та проводити налаштування системи віддалено з браузера.

## Висновки

Запропоновано концепцію побудови системи моніторингу сонячної електростанції, яка забезпечує вимірювання, накопичення та візуалізацію енергетичних параметрів, таких як потужність генерації ФЕП, стан АКБ, стан мережі, у вигляді графіків. Вартість реалізації запропонованої системи не перевищує 2,5 тис. грн., що суттєво нижче наявних на ринку аналогів.

## Література

1. Сучасні прилади контролю та обліку електричної енергії: навч. посіб. / Д.М. Калюжний, П.П. Рожков, С.Е. Рожкова, Д.В. Бородин; ХНУМГ. – Харків: «Друкарня Мадрид», 2017. – 344 с.
2. STM32™'s ADC modes and their applications: Application note AN3116 / Електронний ресурс [Режим доступу]: [https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application\\_note/c4/63/a9/f4/ae/f2/48/5d/CD00258017.pdf/files/CD00258017.pdf/jcr:content/translations/en.CD00258017.pdf](https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/c4/63/a9/f4/ae/f2/48/5d/CD00258017.pdf/files/CD00258017.pdf/jcr:content/translations/en.CD00258017.pdf)
3. How to optimize the ADC accuracy in the STM32 MCUs: Application note AN2834 / Електронний ресурс [Режим доступу]: [https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application\\_note/group0/3f/4c/a4/82/bd/63/4e/92/CD00211314/files/CD00211314.pdf/jcr:content/translations/en.CD00211314.pdf](https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/group0/3f/4c/a4/82/bd/63/4e/92/CD00211314/files/CD00211314.pdf/jcr:content/translations/en.CD00211314.pdf)
4. How to use ADC Oversampling techniques to improve signal-to-noise ratio on STM32 MCUs: Application note AN5537 / Електронний ресурс [Режим доступу]: [https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application\\_note/group2/5f/8e/fb/19/fc/1e/48/4c/DM00722433/files/DM00722433.pdf/jcr:content/translations/en.DM00722433.pdf](https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/group2/5f/8e/fb/19/fc/1e/48/4c/DM00722433/files/DM00722433.pdf/jcr:content/translations/en.DM00722433.pdf)
5. Віддалений доступ в Home assistant: Безпека та відеоспостереження / Електронний ресурс [Режим доступу]: <https://oxorona.com/ha-remote-access>
6. Raspberry Pi: Home Assistant / Електронний ресурс [Режим доступу]: <https://www.home-assistant.io/installation/raspberrypi/>