

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯМ ПОБУТОВОЇ МЕРЕЖІ В АВАРІЙНИХ РЕЖИМАХ

Вінницький Національний Технічний Університет

Анотація

У роботі проведено порівняльний аналіз методів керування навантаженням побутової мережі в умовах обмеженої потужності джерела живлення. На основі критеріїв швидкодії та автономності обґрунтовано переваги використання локальних автоматичних систем для захисту інверторів в аварійних режимах порівняно з ручним та хмарним керуванням.

Ключові слова: аварійне електропостачання, керування навантаженням, інвертор, smart grid, розумний дім.

Abstract

The paper presents a comparative analysis of household load management methods under limited power source conditions. Based on response time and autonomy criteria, the advantages of using local automatic systems for inverter protection in emergency modes compared to manual and cloud-based control are substantiated.

Keywords: emergency power supply, load management, inverter, smart grid, smart home.

Вступ

В умовах дефіциту генеруючих потужностей та застосування графіків аварійних відключень, забезпечення енергонезалежності житлових приміщень реалізується переважно шляхом встановлення інверторних систем з літєвими накопичувачами енергії. Ключовою проблемою експлуатації таких систем є обмежена перевантажувальна здатність побутових інверторів (зазвичай 3–5 кВт). У момент автоматичного перемикавання на резервне живлення сумарна потужність активних споживачів часто перевищує номінал інвертора, що призводить до миттєвого спрацювання його внутрішнього захисту та повного знеструмлення об'єкта. Метою роботи є аналіз ефективності різних методів автоматичного розвантаження мережі (Load Shedding) для забезпечення стабільної роботи інвертора.

Принципи керування навантаженням

Основна мета керування в аварійних режимах полягає у забезпеченні живлення критично важливих споживачів шляхом контрольованого відключення другорядних навантажень. Ефективність системи визначається трьома фундаментальними принципами:

- 1) **Пріоритетність.** Поділ споживачів на групи та селективне відключення навантажень, починаючи з найменш важливих.
- 2) **Швидкодія.** Час реакції системи керування повинен бути меншим за час спрацювання апаратного захисту інвертора (зазвичай менше 200 мс). Будь-яка затримка призводить до втрати живлення всього об'єкта.
- 3) **Автономність.** Керування має здійснюватися незалежно від зовнішніх сервісів (Інтернет, мобільний зв'язок) та втручання оператора, оскільки аварійні режими часто супроводжуються відмовою суміжної інфраструктури.

Аналіз існуючих підходів

Виділено три основні методи реалізації керування.

Перший підхід — ручне керування, де функції автоматики виконує користувач. Цей метод має критичні недоліки: висока інерційність (час реакції людини становить від 30 с до кількох хвилин) та неможливість захисту системи за відсутності власника вдома. Оскільки час спрацювання електронного захисту інвертора від перевантаження становить менше 200 мс, ручне втручання є неефективним для запобігання аварійним відключенням.

Другий підхід — хмарна IoT-автоматизація (екосистеми TuYa, Ewelink). Вона базується на сценаріях взаємодії розумних розеток через Інтернет. Головною проблемою такої архітектури є залежність від зовнішньої мережевої інфраструктури. У момент знеструмлення будинку Wi-Fi роутер перезавантажується (60–120 с), а доступ до мережі Інтернет може бути відсутнім через знеструмлення обладнання провайдера. Крім того, затримка передачі сигналу через хмарний сервер становить 500–2000 мс, що є неприпустимо великим значенням для аварійної автоматики.

Третій підхід — локальна розподілена система (Local Edge Computing). Система будується на базі мікроконтролерів ESP32, що використовують протокол прямого зв'язку ESP-NOW. Головний контролер аналізує споживання в реальному часі і при детекції переходу на резервне живлення надсилає широкомовну команду на відключення неперіоритетних навантажень. Експериментально встановлено, що затримка передачі пакету в такій мережі не перевищує 50 мс, а система зберігає працездатність навіть при повному відключенні Wi-Fi роутера та Інтернету.

Висновки

Порівняльний аналіз довів, що методи, які залежать від ручного втручання або зовнішньої інфраструктури, не забезпечують необхідного рівня надійності. Найбільш ефективним є впровадження локальних автоматичних систем, здатних реалізувати оперативну пріоритезацію навантажень без участі людини та зовнішніх мереж.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ESS Design & Installation Manual. Victron Energy. 2023. URL: <https://www.victronenergy.com/live/ess:design-installation-manual> (дата звернення: 31.12.2025)
2. What is Edge Computing? IBM Technology. URL: <https://www.ibm.com/topics/edge-computing> (дата звернення: 31.12.2025).
3. ESP-NOW Protocol User Guide. Espressif Systems Documentation. 2024. URL: https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/network/esp_now.html (дата звернення: 31.12.2025).
4. Як підключити інвертор до будинку URL: <https://www.bezpeka-shop.com/ua/blog/poleznyye-sovety/kak-podklyuchit-invertor-k-domu> (дата звернення: 31.12.2025).

Черневський Назар Олександрович — студент групи 2КІ-25м, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький Національний Технічний Університет, Вінниця, e-mail: chernevskijnazar@gmail.com

Chernevskyi Nazar Oleksandrovich — student of group 2KI-25m, faculty of information technologies and computer engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: chernevskijnazar@gmail.com