

ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГІБРИДНИХ ІНВЕРТОРІВ В УМОВАХ АВАРІЙНИХ ВІДКЛЮЧЕНЬ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті проаналізовано режими роботи гібридних інверторів під час нестабільного електропостачання. Розглянуто проблеми перехідних процесів при перемиканні на резервне живлення, питання наскрізного "нуля" та особливості керування зарядом акумуляторних батарей. Наведено рекомендації щодо вибору параметрів інвертора для забезпечення безперебійного живлення побутових та промислових споживачів.

Ключові слова: гібридний інвертор, акумуляторна батарея, перехідні процеси, автономне живлення, Smart Load.

Abstract

The article analyzes the operating modes of hybrid inverters during unstable power supply. The problems of transients during switching to backup power, issues of pass-through "neutral" and features of battery charge management are considered. Recommendations on the selection of inverter parameters to ensure uninterrupted power supply for household and industrial consumers are given.

Keywords: hybrid inverter, battery, transients, off-grid power, Smart Load.

В умовах пошкодження енергетичної інфраструктури України забезпечення автономності споживачів стає критично важливим завданням. Гібридні інвертори, які поєднують функції мережевого інвертора, зарядного пристрою та джерела безперебійного живлення (ДБЖ), є найбільш ефективним рішенням для приватних домогосподарств та малого бізнесу. Проте, експлуатація цього обладнання в умовах частих та непередбачуваних відключень мережі виявила низку технічних особливостей, які потребують детального аналізу.

Аналіз проблем перемикавання. Однією з головних характеристик гібридного інвертора є час перемикавання t_{sw} з режиму On-Grid у режим Off-Grid (Backup). Виробники зазвичай декларують $t_{sw} < 10$ мс (для ДБЖ класу UPS) або $t_{sw} < 20$ мс (для класу Appliance). Однак, на практиці, при значних спотвореннях синусоїди вхідної напруги перед відключенням, час детекції аварії може збільшуватися.

Енергетичний баланс системи в момент t описується рівнянням:

$$P_L(t) = P_{PV}(t) + P_B(t) + \eta \cdot P_G(t),$$

де P_L – потужність навантаження; P_{PV} – потужність фотоелектричних модулів; P_B – потужність, що віддається акумуляторною батареєю (АКБ); P_G – потужність зовнішньої мережі; η – ККД перетворення AC/DC/AC.

При аварійному зникненні P_G , стабільність вихідної напруги U_{out} залежить від швидкості наростання струму розряду АКБ (dI_B/dt). Для літій-залізо-фосфатних (LiFePO₄) акумуляторів цей показник є високим, проте обмеження часто накладає BMS (Battery Management System), що може призвести до короткочасного "просідання" напруги.

Проблема наскрізного нейтрального провідника. Більшість бюджетних гібридних інверторів при роботі від мережі транслюють вхідну нейтраль на вихід. При переході в автономний режим внутрішнє реле розриває зв'язок не лише фази, але й нейтралі (для схем із повним гальванічним розв'язком або двополюсним розмиканням). Це призводить до появи режиму IT (ізолювана нейтраль) на виході інвертора. Це явище є критичним для фазозалежного обладнання (газові котли з іонізаційним датчиком полум'я). Напруга між умовною "землею" та виходами інвертора може становити:

$$U_{L-PE} \approx U_{N-PE} \approx \frac{U_{out}}{2},$$

Для вирішення цієї проблеми необхідне застосування розділяючих трансформаторів або налаштування режиму "Grounding Box" (уземлення нейтралі в режимі острова), якщо це передбачено схемотехнікою інвертора.

Розрахунок ємності системи накопичення. В умовах графіків відключень (наприклад, 4 години є світло, 4 – немає), критичним параметром стає не лише ємність, а й струм заряду (I_{ch}). Час, необхідний для відновлення заряду, визначається як:

$$t_{ch} = \frac{C_B \cdot (1 - DOD)}{I_{ch} \cdot \eta_{ch}},$$

де C_B – номінальна ємність АКБ (А·год); DOD – глибина розряду (Depth of Discharge); η_{ch} – ефективність заряду.

Якщо t_{ch} перевищує час наявності мережі, система не встигатиме зарядитися до наступного відключення, що призводить до хронічного недозаряду та прискореної деградації хімічних елементів, особливо свинцево-кислотного типу. Тому в поточних умовах рекомендовано використовувати LiFePO4 батареї з можливістю заряду струмами 0.5C–1C.

Висновки. Експлуатація гібридних інверторів в умовах аварійних відключень вимагає правильного налаштування пріоритетів джерел енергії (SBU/SUB), обов'язкового врахування типу заземлення нейтралі для чутливого навантаження та розрахунку балансу потужності зарядного пристрою відносно доступного часу наявності електромережі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ EN 62109-1:2014. Безпечність силових перетворювачів для використання у фотоелектричних енергетичних системах. Частина 1. Загальні вимоги. – [Чинний від 2014-01-01]. – К. : Мінекономрозвитку України, 2014. – 120 с.
2. Shuo Y. Control and Operation of Hybrid Inverter Systems in Microgrids / Y. Shuo, A. K. Singh // IEEE Transactions on Power Electronics. – 2021. – Vol. 36, No. 3. – P. 3245–3258.
3. Власенко О. А. Аналіз ефективності систем автономного електропостачання на базі гібридних інверторів / О. А. Власенко, В. В. Кучерук // Вісник ВНТУ. – 2023. – № 2. – С. 45–51.

Скакун Назарій Сергійович — студент групи ІКІ-25мс, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця. e-mail: nazariy135@gmail.com

Науковий керівник: **Мартинюк Володимир Валерійович** — канд. техн. наук, доцент кафедри загальної фізики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Skakun Nazarii Sergiyovich — Department of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, nazariy135@gmail.com

Supervisor: **Martyniuk Volodymyr V.** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of general Physics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia