УДК 621.3

Владислав Борисюк
Олександр Кравець

РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В СМАРТ-МЕРЕЖАХ ЗА ДОПОМОГОЮ АКТИВНИХ ФІЛЬТРІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У сучасних електричних мережах відбувається перехід до інтелектуальних мереж (смарт-мереж), що характеризуються зростанням розподіленої генерації, особливо з відновлюваних джерел енергії, та збільшенням кількості електромобілів. Ці зміни призводять до двонаправлених потоків потужності та більш динамічних профілів навантаження, що створює значні труднощі для традиційних методів регулювання напруги. Метою роботи є аналіз принципів дії, типів, переваг, недоліків та математичних моделей активних фільтрів у контексті регулювання напруги в смарт-мережах.

Ключові слова : *Інтелектуальні мережі (смарт-мережі), розподілена генерація, відновлювані джерела енергії, електромобілі, двонаправлені потоки потужності, динамічні профілі навантаження, регулювання напруги, активні фільтри, гармонійні спотворення, якість електроенергії, стабілізація рівнів напруги, математичні моделі.*

Abstract

The modern power grid is transitioning towards smart grids, characterized by an increase in distributed generation, particularly from renewable energy sources, and a growing number of electric vehicles. These changes lead to bidirectional power flows and more dynamic load profiles, posing significant challenges for traditional voltage regulation methods. The aim of this work is to analyze the operating principles, types, advantages, disadvantages, and mathematical models of active filters in the context of voltage regulation in smart grids.

Keywords: *Smart grids, distributed generation, renewable energy sources, electric vehicles, bidirectional power flows, dynamic load profiles, voltage regulation, active filters, harmonic distortions, power quality, voltage level stabilization, mathematical models.*

Сучасна електроенергетична система переживає значну трансформацію, спрямовану на створення інтелектуальних мереж (смарт-мереж), які характеризуються глибокою інтеграцією розподіленої генерації (РГ), особливо з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), та зростанням кількості електромобілів (ЕМ). Цей перехід від традиційних пасивних мереж з однонаправленим потоком потужності до активних розподільних мереж (АРМ) з багатонаправленим потоком створює нові, складні виклики для забезпечення стабільності та надійності енергопостачання, особливо в контексті регулювання напруги. Підтримання стабільної частоти та напруги є надзвичайно важливим для забезпечення надійної роботи всіх елементів смарт-мережі. Однак, переривчастий характер виробництва електроенергії з ВДЕ, таких як сонячна та вітрова енергія, а також непередбачувані режими зарядки електромобілів, можуть суттєво змінювати профіль напруги в смарт-мережах, що негативно впливає на роботу традиційних пристроїв регулювання напруги, таких як трансформатори з регулюванням коефіцієнта трансформації під навантаженням (РКТН) та батареї конденсаторів, які часто не здатні швидко реагувати на такі динамічні зміни. Зростаюча складність смарт-мереж вимагає впровадження передових методів регулювання напруги, які виходять за межі можливостей традиційних підходів. У цьому контексті дослідження активних фільтрів як перспективного рішення є надзвичайно актуальним.

Смарт-мережі характеризуються не лише інтеграцією РГ та ЕМ, але й широким застосуванням силової електроніки та передових комунікаційних технологій, що дозволяє формувати активні розподільні мережі (АРМ) з можливістю двонаправленого потоку потужності. Основною метою смарт-мереж є підвищення надійності та якості електропостачання, поліпшення безпеки, максимізація ефективності використання енергії та зниження негативного впливу на навколишнє середовище. Проте, інтеграція великої кількості розподілених генераторів та нелінійних навантажень призводить до виникнення проблем з якістю електроенергії, зокрема до коливань напруги та появи гармонійних спотворень. Коливання напруги можуть спричиняти мерехтіння світла, призводити до несправностей чутливого обладнання та скорочувати термін його служби. Гармоніки, які генеруються такими

навантаженнями, як імпульсні блоки живлення та промислове обладнання, можуть викликати перегрів компонентів енергосистеми, збільшувати втрати потужності та знижувати коефіцієнт потужності.

Активні фільтри є електронними пристроями, призначеними для вирішення цих проблем шляхом активної компенсації гармонік та реактивної потужності. На відміну від пасивних фільтрів, які використовують фіксовані значення індуктивностей та ємностей, активні фільтри використовують силову електроніку та складні алгоритми керування для генерації компенсаційних струмів або напруг, які точно протидіють небажаним складовим сигналу. Це забезпечує швидку та ефективну компенсацію в реальному часі, адаптуючись до змін навантаження та умов мережі. Існують різні типи активних фільтрів, серед яких найбільш поширеними є шунтуючі активні фільтри, які підключаються паралельно до навантаження для компенсації струмових гармонік та реактивної потужності, та послідовні активні фільтри, які підключаються послідовно з лінією живлення для компенсації гармонік напруги та зменшення її коливань. Також існують гібридні активні фільтри, які поєднують в собі переваги шунтуючих та послідовних конфігурацій, забезпечуючи більш комплексну компенсацію проблем якості електроенергії. Застосування активних фільтрів є ефективним способом для покращення якості електроенергії та стабілізації напруги в складних умовах функціонування сучасних смарт-мереж..

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Voltage Regulation in Smart Grids [Електронний ресурс] / ResearchGate. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/333524600_Voltage_Regulation_in_Smart_Grids (дата звернення: 20.03.2025).
2. Active Filters: A versatile solution for stabilizing the power supply [Електронний ресурс] / PSC Consulting. – Режим доступу: https://www.pscconsulting.com/active-filters-a-versatile-solution-for-stabilizing-the-power-supply/ (дата звернення: 20.03.2025).
3. Power Quality Conditioners in Smart Grid [Електронний ресурс] / TutorialsPoint. – Режим доступу: https://www.tutorialspoint.com/smart-grid-technology/power-quality-conditioners-in-smart-grid.htm (дата звернення: 20.03.2025).
4. Harmonics, Filtering, and Power Quality [Електронний ресурс] / Monolithic Power Systems. – Режим доступу: https://www.monolithicpower.com/en/learning/mpscholar/power-electronics/ac-ac-converters/harmonics-filtering-and-power-quality (дата звернення: 20.03.2025).

Борисюк Владислав Олександрович – студент групи ЕЕ-21б факультету електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця : vladborisyuk04@gmail.com
Кравець Олександр Миколайович - доцент кафедри електротехнічних систем електропостачання та енергозбереження, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця oleksandr.kravets@vntu.edu.ua

Borysiuk Vladyslav – student of Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vladborisyuk04@gmail.com.
Kravets Oleksandr - docent, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, oleksandr.kravets@vntu.edu.ua