

УДК 681.5:621.316.1

*Токовий Д.А., здобувач,
Покляченко О.В., старший викладач*
Державний університет «Житомирська політехніка»

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

Сучасні розподільні електричні мережі працюють в умовах зростання частки нелінійних навантажень, силової електроніки та розосередженої генерації, що ускладнює забезпечення належної якості електричної енергії. Відхилення напруги, гармонічні спотворення, несиметрія фаз і провали напруги негативно впливають на надійність роботи обладнання та зумовлюють додаткові економічні втрати. Тому актуальним є впровадження автоматизованих систем, здатних у режимі реального часу контролювати показники якості електроенергії та формувати керуючі впливи для їх нормалізації. Метою роботи є розробка автоматизованої системи забезпечення якості електричної енергії в розподільних мережах, що поєднує засоби вимірювання, обробки даних, оцінювання параметрів мережі та автоматичного керування компенсувальними пристроями. Запропонований підхід забезпечує безперервний моніторинг параметрів мережі, виявлення відхилень і автоматичне формування рішень щодо стабілізації напруги, зменшення гармонічних спотворень і підвищення симетрії фазних навантажень.

Функціональна структура системи включає підсистему вимірювання, комунікаційну підсистему, аналітичний модуль, модуль прийняття рішень та виконавчу підсистему. На нижньому рівні використовуються цифрові аналізатори якості електроенергії, інтелектуальні лічильники та датчики струму й напруги, що здійснюють синхронізований збір миттєвих і усереднених значень параметрів мережі. На середньому рівні реалізується передавання даних до контролера або SCADA-системи, де виконуються розрахунок показників якості та ідентифікація аварійних або передаварійних режимів. Верхній рівень забезпечує формування керуючих сигналів для регулювання положення відпак трансформатора, ввімкнення батарей статичних конденсаторів, активних фільтрів гармонік, компенсаційних пристроїв типу STATCOM або алгоритмів керування навантаженням.

Відповідно до сучасних стандартів контролю якості електричної енергії система повинна забезпечувати вимірювання та інтерпретацію таких параметрів, як частота мережі, діюче значення напруги, флікер, провали та перенапруги, перерви електропостачання, несиметрія

напруг, гармоніки та інтергармоніки. Для оцінювання рівня гармонічних спотворень може використовуватися показник повного коефіцієнта гармонічних спотворень напруги:

$$THD_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N U_n^2}}{U_1} \cdot 100\%$$

де U_1 – діюче значення основної гармоніки напруги, U_n – діючі значення вищих гармонік. Застосування такого показника дає змогу кількісно оцінити ступінь спотворення синусоїдальної форми напруги та використовувати його як один із критеріїв прийняття керуючих рішень. Для комплексної оцінки стану мережі доцільно використовувати інтегральний критерій якості електричної енергії:

$$J = w_1 \left(\frac{\Delta U}{\Delta U_{\text{доп}}} \right)^2 + w_2 \left(\frac{THD_U}{THD_{U,\text{доп}}} \right)^2 + w_3 \left(\frac{k_{2U}}{k_{2U,\text{доп}}} \right)^2$$

де ΔU – відхилення напруги від номінального значення; THD_U – коефіцієнт гармонічних спотворень; k_{2U} – коефіцієнт несиметрії; w_1, w_2, w_3 – вагові коефіцієнти відповідних показників. Мінімізація критерію J дає змогу реалізувати автоматичний вибір керуючих дій залежно від характеру порушення. Наприклад, при перевищенні допустимого відхилення напруги система може змінювати коефіцієнт трансформації або підключати компенсувальні засоби, а при зростанні гармонічних спотворень – активувати фільтрокомпенсувальні пристрої.

Особливістю автоматизованої системи є циклічний принцип функціонування. На першому етапі здійснюється вимірювання параметрів мережі в контрольних вузлах. Далі виконується нормалізація, фільтрація та аналітична обробка даних, після чого формується висновок про поточний рівень якості електричної енергії. У разі виявлення відхилень модуль керування визначає тип порушення, обирає оптимальний спосіб корекції та передає команду виконавчим пристроям. Після реалізації керуючого впливу здійснюється повторний контроль параметрів, що забезпечує замкнений контур автоматизованого регулювання. Такий підхід дозволяє перейти від пасивного моніторингу до активного керування якістю електроенергії у розподільній мережі.

Список використаних джерел:

1. IEC. IEC 61000-4-30:2025. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods. 2025.