УДК:681.5:621.315.17:621.396.946

ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА ПРИ ВИЗНАЧЕННІ МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

О. Шепель, аспірант
А. Мацуй, д-р техн. наук, професор
А. Мірошніченко, група ЕНМ-24М
А. Ткаченко, група ЕЕ-24
Центральноукраїнський національний технічний університет

Електроенергетична система як об'єкт управління являє собою складноорганізований комплекс, що включає велику кількість взаємопов’язаних елементів різного рівня складності – електростанції, лінії електропередач (ЛЕП), трансформаторні підстанції (ТПС), трансформатори, пристрої релейного захисту та автоматики, системи управління тощо. Всі ці компоненти формують єдину динамічну систему, в якій існує тісна взаємозалежність між елементами.

З огляду на складність структури, енергосистема стикається з низкою викликів, пов’язаних з оптимізацією режимів її функціонування, забезпеченням надійності, чутливістю до аварійних ситуацій, труднощами в діагностиці та здійсненні ремонтних робіт. Пошкодження в електричній мережі, як правило, мають випадковий і складнопередбачуваний характер, що ускладнює завчасне реагування та профілактику.

Аварійні ситуації в мережі призводять до порушення режимів електропостачання, зниження якості надання послуг, перебоїв або повної зупинки подачі електроенергії кінцевим споживачам, що в результаті викликає значні економічні збитки. Величина втрат для енергопостачальної компанії безпосередньо залежить від оперативності виявлення та усунення пошкоджень.

Час, протягом якого пошкоджена ділянка залишається без живлення, визначається двома основними складовими: тривалістю визначення місця пошкодження (ВМП) та тривалістю виконання ремонтно-відновлювальних робіт. Саме тому оптимізація процесу ВМП набуває особливої актуальності в сучасних умовах, коли підвищуються вимоги до надійності, безперебійності та ефективності роботи енергосистем.

На сьогодні існує низка труднощів у виявленні місця пошкодження ЛЕП:

- велика протяжність ліній;
- складний доступ до окремих ділянок (ліси, гори, болота);
- обмеженість у засобах діагностики;
- залежність від людського фактору;
- відсутність точного моніторингу в режимі реального часу.

Це призводить до затримок у реагуванні, високих експлуатаційних витрат, а іноді – до повторних аварій через нерозпізнані дефекти.

У сучасних умовах стрімкого розвитку цифрових технологій усе більше уваги приділяється інтелектуалізації енергетичних систем. Сучасні технології дають нові можливості:

- використання датчиків, дронів, супутникового зв’язку;
- аналітика великих даних (Big Data) та штучний інтелект;
- прогнозування аварій та профілактика пошкоджень;
- інтеграція із геоінформаційними системами (GIS) для візуального контролю.

Одним із перспективних інструментів у цій сфері є цифровий двійник – віртуальна модель фізичного об’єкта або процесу, яка дозволяє в режимі реального часу відображати стан системи, прогнозувати її поведінку та здійснювати діагностику. Особливу актуальність цифрові двійники набувають у сфері обслуговування та моніторингу ЛЕП. Застосування цифрових двійників, дозволяють значно скоротити час діагностики, покращити точність локалізації

аварій, а також мінімізувати витрати часу і ресурсів на ремонт.

Цифровий двійник – це програмно-апаратна система, яка створює точну віртуальну копію об’єкта або процесу. У випадку з ЛЕП він відображає:

- геометричну структуру мережі;
- параметри струму, напруги, опору;
- метеоумови та їх вплив;
- реальні дані з сенсорів, дронів, супутників.

Такий двійник здатен відстежувати зміни, аналізувати їх і оперативно реагувати на критичні ситуації.

Цифровий двійник при ВМП ЛЕП використовується для:

- порівняння віртуальної моделі з реальними даними – виявлення аномалій;
- локалізації місця пошкодження – за допомогою сигналів та алгоритмів;
- прогнозування аварійних ситуацій – шляхом аналізу трендів;
- візуалізації інформації для диспетчерів;
- автоматичного оповіщення аварійних бригад;
- аналізу історії несправностей для вдосконалення обслуговування.

Для розробки цифрового двійника спочатку треба провести певні теоретичні дослідження: струми та напруги нульової послідовності при однофазному замиканні на землю; протікання струмів нульової послідовності в обмотках силових трансформаторів; розтікання струмів нульової послідовності у розгалуженій мережі; утворення RLC-контуру на повітряній лінії при однофазному замиканні на землю; побудова та дослідження моделі електричних систем у середовищі Matlab Simulink; проаналізувати гармонійний склад струму нульової послідовності при однофазному замиканні на землю на різних ділянках повітряної лінії.

Після проведення даних досліджень і для визначення місця пошкодження, а саме однофазного замикання на землю, необхідно буде розмістити датчики струму та напруги на відповідному енергетичному об’єкті, розробити його цифрового двійника, враховуючи певні параметри (параметри трансформаторів, повітряних та кабельних ліній електропередач) та з наступним порівнянням аналогових зафіксованих на датчиках та змодельованих у цифровому двійнику сигналів, проаналізувати перехідні процеси, що виникають при пошкодженнях та визначити місце несправності.

Таким чином, розробка та використання цифрового двійника для визначення місця пошкодження ЛЕП – це не лише сучасне технічне рішення, а необхідність для забезпечення стабільності, надійності та безпеки енергопостачання. Такий підхід дозволяє перетворити традиційну енергосистему на інтелектуальну, де кожна аварія виявляється автоматично, точно та оперативно, а ремонтні заходи виконуються швидко та ефективно.