

УДК 621.3.013.1

Дівчук Т.Є.¹, Бабкін Д.О.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² асп. НУ «Запорізька політехніка»

СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ВТРАТ НЕРОБОЧОГО ХОДУ ТРАНСФОРМАТОРА НА ОСНОВІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Від надійності роботи силового трансформатору, як ключового обладнання в електричних мережах, залежить безпека енергосистеми. Тому обов'язково необхідно контролювати та оцінювати стан трансформаторів. Втрати неробочого ходу можуть відображати стан осердя та обмоток і тому вони є важливим параметром при випробуванні транс-

форматора. Зазвичай втрати неробочого ходу трансформатору вимірюються шляхом автономного випробування без навантаження. Однак виникає багато складнощів при проведенні автономних випробувань на підстанціях. Необхідний блок живлення з високою напругою та великою потужністю, а також випробування під навантаженням в автономному режимі необхідно відключити трансформатор, що впливає на безперервність живлення. Крім того, параметри магнітного кола і температура автономних трансформаторів можуть відрізнятися від робочих трансформаторів. Для своєчасної оцінки втрат неробочого ходу необхідно вимірювати втрати трансформатора на місці на основі запровадження та використання нових технологій моніторингу.

В останні роки багато вітчизняних та зарубіжних учених почали вивчати оперативні методи виявлення втрат силових трансформаторів. Існуючі методи онлайн-вимірювання не дозволяють забезпечити високоточне вимірювання струму неробочого ходу, і як наслідок, вимірювання втрат неробочого ходу.

Втрати трансформатора під час роботи можна розділити на втрати неробочого ходу та втрати навантаження. Втрати неробочого ходу можна поділити на основні та додаткові втрати. Причинами основних втрат неробочого ходу є гістерезис та вихрові струми в осерді. Місцеві вихрові струми, спричинені погіршенням ізоляції в листах із електротехнічної сталі, призводять до додаткових втрат. Втрати неробочого ходу переважно пропорційні квадрату напруги. Оскільки напруга трансформатора під час роботи залишається практично незмінною, втрати холостого ходу вважаються сталими.

Струм в обмотках викликає втрати навантаження. Вони переважно пропорційні квадрату струму. Тому їх називають змінними втратами.

Коли трансформатор працює в номінальному режимі, падіння напруги імпедансу первинної обмотки досить низьке, а струм збудження набагато нижчий за номінальний струм первинної обмотки. При розробці системи вимірювання треба використовувати не Т-подібну схему заміщення, а Г-подібну тоді похибка, спричинена апроксимацією, дуже мала і допускається для інженерних розрахунків.

При автономному випробуванні на неробочому ході ланцюг вторинної обмотки розімкнено. Поточного струму немає. Під час випробування під навантаженням в автономному режимі відбувається коротке замикання однієї з обмоток.

Втрати неробочого ходу та втрати навантаження можна розрахувати шляхом онлайн-вимірювання електричних параметрів первинної та вторинної обмоток відповідно.

Щоб запобігти перевищенню граничного значення температури трансформатора, струм неробочого ходу має бути дуже низьким. Що

стосується трансформаторів великої потужності, відсоток струму холостого ходу зазвичай не перевищує 1%.

Метод оперативного виміру теоретично можна реалізувати, але він вимагає високої точності трансформаторів струму. Обмежений точністю трансформаторів струму в полі, струм збудження не може бути отриманий за рахунок різниці значень струмів первинної і вторинної обмоток. Крім того, для забезпечення точності вимірювання необхідно реалізувати синхронний збір даних про трифазну напругу та струм. Оскільки датчик струму працює при високому потенціалі, коли втрати неробочого ходу вимірюються в режимі он-лайн, необхідно забезпечити надійну ізоляцію.

Тому доцільно застосовувати інший метод виміру втрат неробочого ходу в польових умовах. Він безпосередньо виконує дослідження без навантаження, використовуючи електромережу як джерело живлення для експерименту. Враховуючи проблеми з ізоляцією первинної обмотки, для вимірювання струму неробочого ходу необхідно розробити спеціальний блок датчику струму на основі технологій Інтернету речей, який буде мати бездротовий канал зв'язку малої потужності і забезпечувати синхронний збір даних про напруги та струми неробочого ходу.

Пристрій буде живитися від внутрішньої батареї та керуватись блоком мікроконтролеру, який буде отримувати інструкції від віддаленого комп'ютеру, а потім починати збирання даних. Дані зберігаються в пам'яті та надсилаються на віддалений комп'ютер за допомогою бездротового зв'язку. Пристрій повинен забезпечувати три основні вимоги: точність, зв'язок та синхронізація.

Для забезпечення точності необхідно використовувати спеціальні датчики для вимірювання струму неробочого ходу. Наприклад, для діапазону струму холостого ходу 2 А – датчик затискного типу з точністю 0,1%.

Для забезпечення зв'язку блок вимірювання струму неробочого ходу необхідно встановити на виході високовольтної втулки. А джерело живлення експерименту забезпечується електромережею. Враховуючи високий рівень напруги у високовольтному введенні, використовується технологія зв'язку IoT із низьким енергоспоживанням LoRa.

Струм холостого ходу вимірюється датчиком струму, а напруга вимірюється трансформатором напруги на місці. Для розрахунку втрат холостого ходу потрібне синхронне отримання струму та напруги. Тому для запуску дискретизації потрібний синхронний сигнал запуску. Для забезпечення синхронізації можна використовувати модуль GPS, який може посилати тригерний сигнал із невизначеністю близько 15 нс. Вимірювання напруги запускається окремим модулем GPS. Система виміру напруги може з'єднується з ПК через послідовний зв'язок.

Як правило, високовольтний трансформатор має високий ККД, що становить близько 99% або навіть вище. Для трифазного трансформато-

ра потужністю 40 000 кВА при номінальній роботі на резистивне навантаження загальні втрати становлять приблизно 200 кВт. Похибки вимірювання струмів та напруги не повинні перевищувати 0,2 %.

Розробка і використання нового методу вимірювання втрат холодного ходу трансформатора в польових умовах, заснованого на Інтернеті речей, який забезпечить передачу даних з бездротового зв'язку та безпосереднє випробування на неробочому ході, використовуючи електромережу як експериментальне джерело живлення для вирішення проблеми джерела живлення. Для передачі даних можна використовувати технологію LoRa IoT і керувати дистанційно за допомогою модулів GPS, забезпечуючи синхронне отримання даних про струми та напругу. Система оперативного вимірювання втрат навантаження трансформаторів повинна розроблятися на основі Г-подібної схеми заміщення трансформатору. Якщо похибки вимірювання струму та напруги не будуть перевищувати 0,2 % то похибка при визначенні втрат буде обмежена 10 %.