

МЕТОДИ КОНТРОЛЮ МЕХАНІЧНОГО СТАНУ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРА

Яловик О.В., студент, Паненко О.М., асистент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних мереж та систем

Вступ. Сучасні тенденції розвитку систем контролю силових трансформаторів визначаються переходом до стратегії обслуговування обладнання по фактичному технічному стану і вимагають розробки нових методів контролю, придатних для використання в навантажувальних режимах.

Мета роботи. Визначення методів для контролю механічного стану обмоток трансформатора, для покращення ефективності діагностування.

Матеріали дослідження. Розвиток методів низьковольтних імпульсів (НВІ) [1] і аналізу частотних характеристик (FRA) [2] дозволило не тільки отримати більш чутливі, в порівнянні з методом Z_k , інструменти діагностування механічного стану обмоток трансформатора, але і використовувати комбінацію з двох різних методів [1], що відповідає рекомендаціям [2] і дозволяє підвищити достовірність результатів обстеження.

Але є важлива не вирішена задача (стосовно НВІ, FRA), вони не адаптовані для використання в навантажувальних режимах трансформатора. Можливість адаптації методу контролю Z_k в навантажувальних режимах дозволяє не тільки говорити про контроль обмоток під навантаженням, а й про отримання оперативної інформації стосовно необхідності відключення трансформатора і проведення обстежень. Використовуваний в даний час критерій проведення тестових випробувань - "вплив на обмотки струму КЗ, що перевищує 0.7 від допустимого значення", є недостатнім, тому що існує ймовірність пошкодження при менших струмах КЗ і, навпаки, можливе збереження механічної стійкості обмоток при зазначених значеннях струму КЗ.

Основа методів контролю Z_k під нагрузкою – це вимір струмів і напруг на виводах трансформатора в навантажувальних режимах та визначення Z_k , використовуючи приведення виміряних струмів і напруг до однієї сторони, наприклад:

$$Z_k = \frac{U_1 - U_2'}{I_2'} \quad (1)$$

Названі методи мають ряд загальних недоліків, які заважають ефективному застосуванню для контролю навантаженого трансформатора:

– Необхідність використання наведених величин передбачає наявність інформації про коефіцієнти трансформації ($K_{тр}$) для кожної фази обмоток. Однак точність визначення $K_{тр}$ з досвіду холостого ходу не завжди дозволяє ефективно використовувати їх для приведення робочих струмів і напруг; в більшості випадків визначення різниці близьких величин (як у формулі (1)) призводить до

некоректних результатів. Крім того, до аналогічних погрешностей може призводити зміна $K_{тр}$ внаслідок пошкоджень трансформатора в процесі експлуатації.

– Відсутність обліку залежно контрольованого параметра від параметрів і характеру навантажувальних режимів.

Авторами роботи [4] запропоновано метод, що ґрунтується на контролі кута зсуву фаз між напругою первинної і вторинної обмоток $\varphi_{u1,u2}$ трансформатора. Названий метод може усунути ряд вище перелічених недоліків, і в той же час дозволяє досить просто інтерпретувати результат моніторингу, так як контрольований параметр безпосередньо пов'язаний з величиною Z_k :

$$\varphi_{u1,u2} \sim \sin(\varphi_n - \arctg(\frac{X_k}{R_k})) \cdot k_3 \cdot \sqrt{R_k^2 + X_k^2} \quad (2)$$

φ_n – кут зсуву фаз між напругою та струмом навантаження, k_3 – коефіцієнт загрузки трансформатора.

Як видно на прикладі двохобмотувального трансформатора (2) кут, φ_{u1u2} пропорційний відношенню X_k/R_k що дозволяє встановити межі допустимих відхилень φ_{u1u2} на підставі допустимих відхилень Z_k , скоригованих за допомогою коефіцієнтів впливу (K_6) величини X_k на величину контрольованого параметра. Значення K_6 можуть бути визначені на математичній моделі, або шляхом фізичного експерименту і розраховані за формулою:

$$K_6 = \frac{\varphi'_{u1,u2} - \varphi_{u1,u2}}{\varphi_{u1,u2}} \quad (3)$$

де φ_{u1u2} і φ'_{u1u2} кут між напругою обмоток відповідно при номінальних значеннях і після зміни опорів X_k, R_k .

На відміну від методів контролю Z_k , де величиною активної складової нехтують, при контролі $\varphi_{u1,u2}$ необхідно враховувати, що в навантажувальних режимах трансформатора величини активних опорів залежать від температур обмоток, що змінюються разом з величиною струму. І якщо зміну струму при переході від одного навантажувального режиму до іншого можна вважати миттєвим, то зміна температури обмоток залежить від тривалості перехідного теплового процесу і відповідно впливає на результати моніторингу. Необхідно враховувати, що згідно з ГОСТ 14209-97 в режимах систематичних і тривалих аварійних перевантажень гранично допустимих середня температура обмоток может складати 110-140°C (при середньому номінальному значенні 85°C), що відповідає зміні активного опору приблизно $(1,1 \div 1,23) \cdot R_{ном}$. У той час, як досягнення обмотками сталих температур в середньому становить 20-30 хвилин.

Як приклад, на рис. 1 представлена залежність $K_6 = f(\cos\varphi_n)$ двохобмотувального трансформатора ТДЦ-80000/220 отримана авторами [4] шляхом моделювання в MatLab. Крива 1 відповідає зміні опору X_k обмоток на 1%, а крива 2 – отримана при додатковому зміні R_k на 10%. З рис. 1 видно, що зміна R_k

значно знижує можливості методу при перевазі індуктивної складової навантаження. Для трансформаторів малої потужності з $X_k/R_k < 5$ вказаний негативний ефект присутній на всьому діапазоні зміни $\cos(\varphi_H)$.

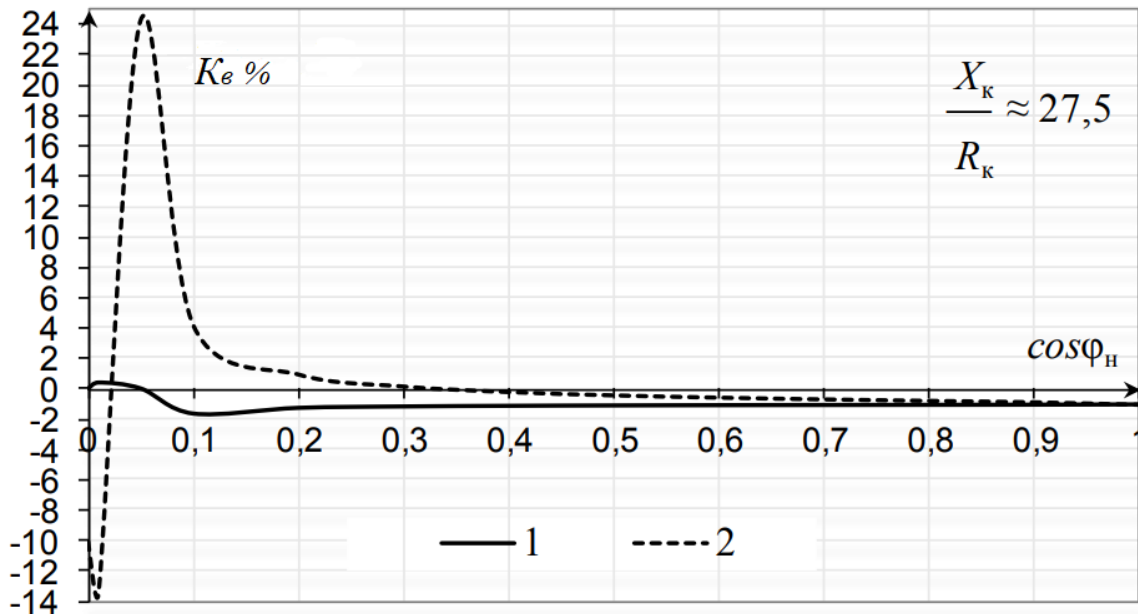


Рисунок 1 - Залежність $K_\varepsilon = f(\cos\varphi_H)$

Для трансформаторів малої потужності, аналогічна похибка може призводити до помилкових результатів і при використанні методів контролю Z_k можна уникнути некоректних результатів моніторингу. При використанні останнього методу, з'являються похибки в результатах через перегрів обмоток, і позбутися їх можна виділенням ділянки тренда відхилень φ_{u1u2} , викликаних зміною R_k і подальшої отбраковки даних.

Висновок. Традиційний метод контролю опору КЗ обмоток трансформатора (за значенням Z_k), можна поліпшити, використовуючи комбінацію з методами НВІ або FRA, або використовуючи в якості параметра, що контролюється, кут зсуву фаз між напругою первинної і вторинної обмоток.

Перелік посилань

1. Диагностика обмоток силовых трансформаторов и реакторов методом низковольтных импульсов / А.А. Дробышевский, Е.И. Левицкая, Д.В. Андреев, В.Р. Бельцер // Электротехника. -1997. - № 3.
- 2 Frequency response analysis in diagnosing transformer winding movements – fundamental understandings / D.M. Sofian, Z.D. Wang, S.B. Jayasinghe // Proceedings of 39th International Universities Power Engineering Conference (UPEC 2004) – Bristol, Uk, September 6-8, 2004.
3. Хоанг Ван Нью, Малиновский В.Н. Методы и средства контроля и диагностики состояния обмоток мощных силовых трансформаторов // Электротехника. - 2009. - № 4.
4. Прохоров А.В., Гольдштейн Е.И. Метод оперативного контроля состояния трансформаторного оборудования // Известия вузов. Электромеханика. – 2009. - № 4.