

## ДО ПИТАННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ТРАНСФОРМАТОРА ТЯГОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ

### Вихідні передумови та постановка задачі дослідження

В роботі розглядається сухий трансформатор тягової підстанції міського електротранспорту, який є одним з найважливіших її елементів. Більшість підстанцій вже або відпрацювали свій ресурс, або знаходяться на межі спрацювання. При цьому постійно зростає навантаження на контактну мережу, викликане збільшенням маршрутних шляхів та вагонів на них у зв'язку з розширенням забудов міст на їх околицях. Тому проблема діагностування трансформатора є актуальною.

Більшість існуючих пристроїв, призначених для розв'язання цієї задачі, базуються на визначенні динамічної стійкості обмоток трансформатора за вимірюваними значеннями напруги та струму [1, 2], вимірюванні параметрів схеми заміщення трансформатора [3], вимірюванні температури найбільшої нагрітої точки обмоток та рівня завантаження трансформатора [4], контролі стану трансформаторних вводів [5, 6], вимірюванні миттєвих, середніх та діючих значень струмів, напруги і температури обмоток, температури навколишнього середовища, температур в системі охолодження трансформатора, рівня та тиску масла, його вологості і концентрації розчинених газів [7, 8]. В роботах [9 – 11] акцентується увага на режимах перевантаження трансформатора.

Відповідно до проаналізованих підходів та з прив'язкою до конкретного способу охолодження трансформатора пропонується визначати його залишковий ресурс за станом температури обмотки, температури навколишнього середовища та за станом потужності вторинного кола.

Тому задачею дослідження є створення інформаційно-вимірювальної системи для діагностування трансформатора, яка б враховувала параметри, зазначені вище.

### Розробка структури системи діагностування трансформатора

Відповідно до вихідних параметрів математичну модель, що визначає значення залишкового ресурсу  $R$  і трансформатора можна представити у вигляді:

$$R = \Phi(t_{об}^o, t_{навк}^o, P, P_{пер}, t), \quad (1)$$

де  $t_{об}^o$  – температура найбільш нагрітої точки обмоток трансформатора;

$t_{навк}^o$  – температура навколишнього середовища;

$P$  – потужність вторинного кола трансформатора;

$P_{пер}$  – потужність перевантаження вторинного кола трансформатора;

$t$  – час перевантаження.

Закон старіння ізоляції обмоток можна представити у вигляді рівняння [11]:

$$L = L_0 e^{\alpha(t_{об}^o + t_{пер}^o)}, \quad (2)$$

де  $L$  – термін служби ізоляції;

$L_0$  – термін служби ізоляції, що відповідає нормованій температурі;

$\alpha$  – коефіцієнт, що враховує зміну терміну служби ізоляції при зміні температури  $\theta$  найбільш нагрітої точки ізоляції обмоток;

$t_{пер}^o$  – перевищення температури найбільш нагрітої точки ізоляції, викликане зміною струмів навантаження.

Структура системи діагностування подана на рис. 1, на якому: 1 – сенсор температури найбільш нагрітої точки обмоток трансформатора; 2, 10 – перетворювачі температури в напругу постійного струму; 3, 11, 14 – нормувальні перетворювачі сигналів; 4 – задавач максимально допустимої температури ізоляції обмотки (відповідно до класу ізоляції); 5 – блок віднімання; 6, 8, 17, 21 – функціональні перетворювачі; 7 – суматор; 9 – сенсор температури навколишнього середовища; 12 – сенсор потужності; 13 – перетворювач потужності в напругу постійного струму; 15 – блок задання найбільшої потужності, що відповідає нормальному режиму роботи трансформатора; 16 – компаратор; 18 – електричний годинник; 19 – елемент АБО; 20 – лічильник імпульсів.

Для вимірювання спрацювання силового сухого трансформатора сенсори пристрою розподілені по об'єкту таким чином: сенсор температури 1 установлений на трансформаторі та призначений для вимірювання температури найбільш нагрітої точки його ізоляції; сенсор температури 9 розташований біля об'єкта діагностування і дозволяє контролювати температуру навколишнього середовища; сенсор потужності 12 установлений у вторинному колі трансформатора та призначений для контролю потужності, що віддається трансформатором навантаженню.

Передбачається, що в лічильнику імпульсів 20 введено у вигляді двійкового коду загальний робочий ресурс трансформатора, витрачання якого здійснюється при надходженні на вхід лічильника різних послідовностей імпульсів.

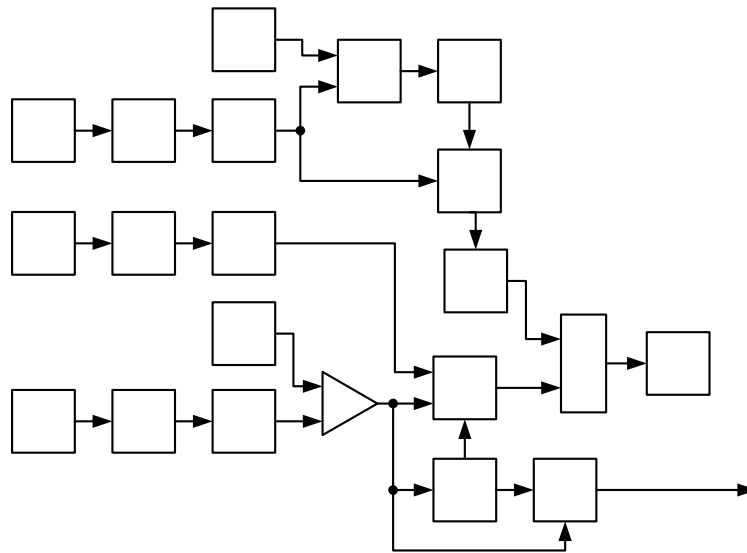


Рис. 1. Структура системи діагностування трансформатора

Блоки 1 – 8 призначені для визначення спрацювання ресурсу трансформатора за станом ізоляції обмоток. Блоки 9 – 18 призначені для визначення спрацювання ресурсу трансформатора за станом його перевантаження та за впливом температури навколишнього середовища. Блоки 18 та 21 призначені для фіксування значення та тривалості перевантаження трансформатора й подачі сигналу в коло сигналізації при недопустимих їх комбінаціях.

Пристрій працює таким чином.

Температура  $t_{об}^o$ , виміряна сенсором 1 температури найбільш нагрітої точки обмоток трансформатора, через перетворювачі 2 і 3 подається на другий вхід блоку віднімання 5 і на другий вхід суматора 7. На перший вхід блоку 5 подається значення максимально допустимої температури  $t_{дон}^o$  ізоляції обмоток з задавача 4. Після операції віднімання  $t_{дон}^o - t_{об}^o$  в блоці віднімання 5 отримується значення  $t_{пер}^o$  перевищення температури найбільш нагрітої точки ізоляції, викликане зміною струмів навантаження, яке надходить до функціонального перетворювача 6. Останній на виході видає сигнал

$$\begin{cases} t_{пер}^o, & \text{якщо } t_{пер}^o > 0; \\ 0, & \text{якщо } t_{пер}^o \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

і подає на перший вхід суматора 7, на другий вхід якого надходить з нормувального перетворювача 3 сигнал, пропорційний  $t_{об}^o$ . В суматорі 7 відбувається додавання поточної температури  $t_{об}^o$  найбільш нагрітої точки обмоток та значення  $t_{пер}^o$  перевищення температури найбільш нагрітої точки ізоляції, викликане зміною струмів навантаження, яке надходить до функціонального перетворювача 8, на виході якого з'являється сигнал, пропорційний  $e^{\alpha(t_{об}^o + t_{пер}^o)}$ , який далі подається на перший вхід елемента АБО 19.

Температура  $t_{навк}^o$ , виміряна сенсором температури навколишнього середовища 9, через відповідні перетворювачі 10 та 11 подається на перший вхід функціонального перетворювача 17.

Потужність  $P$  вторинного кола, виміряна сенсором потужності 12, через відповідні перетворювачі 13 і 14 подається на другий вхід компаратора 16, на перший вхід якого надходить сигнал з блоку 15 задання найбільшої потужності, що відповідає нормальному режиму роботи трансформатора. У випадку виконання умови  $P > P_n$ , з виходу компаратора 16 на другий вхід функціонального перетворювача 17 надходить значення  $P$ . Це ж значення потужності  $P$  подається і на вхід електричного годинника 18 і на другий вхід функціонального перетворювача 21, на перший вхід якого подається сигнал з другого виходу електричного годинника 18, перший вхід якого підключено до третього входу функціонального перетворювача 17. В функціональному перетворювачі 17 відбувається перетворення в відпрацьований ресурс трансформатора за станом і тривалістю його перевантаження та впливом температури навколишнього середовища. Результат такого перетворення надходить на другий вхід елемента АБО 19.

В лічильнику імпульсів 20 відбувається зменшення двійкового коду у відповідності до витраченого ресурсу трансформатора, який надходить з двох каналів (блоки 1 – 8, блоки 9 – 18) через елемент АБО 19.

Функціональний перетворювач 21 здійснює контроль перевантаження за потужністю, яке надходить з компаратора 16, та його тривалості, яке фіксується електричним годинником 18.

Допускається, що сухі трансформатори можуть витримувати короткочасні перевантаження в аварійних ситуаціях понад нормовані (незалежно від тривалості попереднього навантаження, температури навколишнього середовища і місця встановлення) відповідно табл. 1 [12, 13].

Табл. 1. Параметри перевантаження трансформатора

Показники	Числові значення			
Короткочасне перевантаження, %	30	40	50	60
Тривалість перевантаження, хв	45	32	18	5

З виходу функціонального перетворювача 21 в коло сигналізації подається сигнал у випадку, якщо

$$\begin{cases} 1,3P_n \leq P < 1,4P_n \wedge t > 45; \\ 1,4P_n \leq P < 1,5P_n \wedge t > 32; \\ 1,5P_n \leq P < 1,6P_n \wedge t > 18; \\ 1,6P_n \leq P \wedge t > 5. \end{cases} \quad (4)$$

#### ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано основні напрямки, способи та особливості діагностування трансформаторів.
2. Запропоновано здійснювати діагностування сухого трансформатора тягової підстанції за станом температури найбільш нагрітої точки обмоток трансформатора, температури навколишнього середовища, потужності вторинного кола трансформатора та її перевантаженням.
3. Розроблено структуру системи діагностування трансформатора у відповідності до запропонованого підходу діагностування.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. А.с. 1622842 СССР, МКИ G 01 R 27/26. Способ определения динамической стойкости обмоток трансформатора / А.М. Гиновкер, А.Н. Вшивцев, М.В. Лимонов (СССР). – № 4432532/21 ; заявл.30.05.88 ; опубл. 23.01.91, Бюл. № 3.
2. Пат. 2069371 Российская Федерация, МПК G 01 R 35/02. Способ диагностики силовых трансформаторов / Бутырин П.А., Алексейчик Л.В., Алпатов М.Е.; заявитель и патентообладатель Бутырин П.А., Алексейчик Л.В., Алпатов М.Е. – № 93033648/28 ; заявл.29.06.93 ; опубл. 20.11.96.
3. Пат. 2237254 Российская Федерация, МПК G 01 R 31/02. Способ диагностики силовых трансформаторов / Алюнов А.Н., Бабарушкин В.А., Булычев А.В., Гуляев В.А.; заявитель и патентообладатель Вологодский государственный технический университет. – № 2003100586/09 ; заявл.08.01.03 ; опубл. 27.09.04, Бюл. № 27.
4. Пат. 21813 Україна, МПК G 01 R 31/06. Пристрій для вимірювання спрацювання силових трансформаторів / Мокін Б.І., Грабко В.В., Дінь Тхань В'єт; заявник та патентоутримувач Вінницький державний технічний університет. – № 95052359 ; заявл. 16.05.95 ; опубл. 30.04.98, Бюл. № 2.
5. Пат. 23192 Україна, МПК G 01 R 31/06. Пристрій для вимірювання спрацювання силових трансформаторів / Мокін Б.І., Грабко В.В., Дінь Тхань В'єт; заявник та патентоутримувач Вінницький державний технічний університет. – № 96083226 ; заявл. 12.08.96 ; опубл. 31.08.98, Бюл. № 4.
6. Пат. 34253 Україна, МПК G 01 R 31/06. Пристрій для вимірювання спрацювання силових трансформаторів / Мокін Б.І., Грабко В.В.; заявник та патентоутримувач Вінницький державний технічний університет. – № 99063415; заявл. 18.06.99 ; опубл. 15.02.01, Бюл. № 1.
7. Chang W.Y. Expert system for transformer faults diagnosis / W. Y. Chang // Monthly Journal of Taipower's Engineering. – 1994. –No. 551. – P. 71–86.
8. Lin C. E. An expert system for transformer fault diagnosis and maintenance using dissolved gas analysis / C. E. Lin, J.M. Ling, C.L. Huang // IEEE Trans. on PWRD. – 1993. – Vol. 8, No. 1. – P. 231–238.
9. Стжалка-Голушка К. Зміни принципів визначення перенавантажень трансформаторів за нормою PN-EN 60345: 1999 / К. Стжалка-Голушка, Я. Стжалка // Електроінформ. – 2008. – № 2. – С. 14–17.
10. PN-IEC 60345: 1999. Przewodnik obciążalność transformatorów o naturalnym obiegu oleju.
11. Грабко, В.В. Діагностування трансформаторів власних потреб та систем технологічних захистів енергоблока теплової електростанції : монографія / В.В. Грабко, Д.О. Березницький. – Вінниця :ВНТУ, 2010. – 124 с.
12. Ефремов И.С., Кобозев В.М., Шевченко В. В. Технические средства городского электрического транспорта: Учеб. пособие для студ. вузов спец. «Гор. электрич. Транспорт». – М.: Высшая школа, 1985. – 448 с.
13. Тяговые подстанции трамвая и троллейбуса. Справочник. Под редакцией Ефремова И. М. – М.:Транспорт, 1984. – 312 с.