

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ОБМОТКИ ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ ВИПРОБУВАННІ НА НАГРІВАННЯ

© Гупало О.В., Добуш Ю.Д., Козевич О. П., Чоренький Н.С., 2008

**Розглянуто методи автоматизації вимірювання температури обмоток силових трансформаторів при випробуванні на нагрівання.**

**In this paper temperature measuring methods on heating tests of transformer windings are given.**

**1. Вступ.** Під час випробування силових трансформаторів на нагрівання безпосередньо перед відмиканням енергії нагріву необхідно визначити середню температуру обмотки. Згідно з державним стандартом України ДСТУ 3645-97 [1] температуру визначають методом вимірювання активного опору обмотки постійному струму з подальшим обчисленням за виразом:

$$\Theta_2 = \frac{R_2(K + \Theta_1)}{R_1} - K \quad (1)$$

де  $R_1$  і  $\Theta_1$  – відповідно опір і температура обмотки у холодному стані;

$R_2$  і  $\Theta_2$  – опір і температура обмотки у гарячому стані;

$K=235$  для мідної і  $K=225$  для алюмінієвої обмоток.

В загальному випадку вимірювання виконують в такій послідовності:

- відмикають подавання енергії нагріву на трансформатор, вмикають таймер;
- виконують демонтаж схеми для підведення енергії нагріву і монтаж схеми вимірювання;
- вмикають тестовий струм і після закінчення перехідного процесу фіксують перше достовірне значення опору обмотки і час вимірювання;
- виконують подальші вимірювання опору з фіксацією часу під час охолодження обмотки;
- використовуючи вираз (1), будують криву охолодження і екстраполюють її в момент часу відмикання енергії нагріву.

Це доволі складний та тривалий процес, тому актуальним є його вдосконалення.

**2. Вдосконалення вимірювання температури обмотки трансформатора.** Використання сучасного вітчизняного вимірювача опору АТWRM-25 [2] з вбудованим процесорним модулем істотно спрощує вимірювання та оброблення результатів. Прилад дає можливість подати у цифровому вигляді, запам'ятати і відтворити криву охолодження обмотки в часі. У приладі передбачений режим індикації, коли на дисплеї відтворюється результат вимірювання в координатах "температура – час", обчислений за виразом (1) і відображений на рисунку. Модель, що прийнята для розрахунку та екстраполяції температури в момент відмикання енергії нагріву, подається як сукупність постійної складової і процесу, що експоненціально затухає:

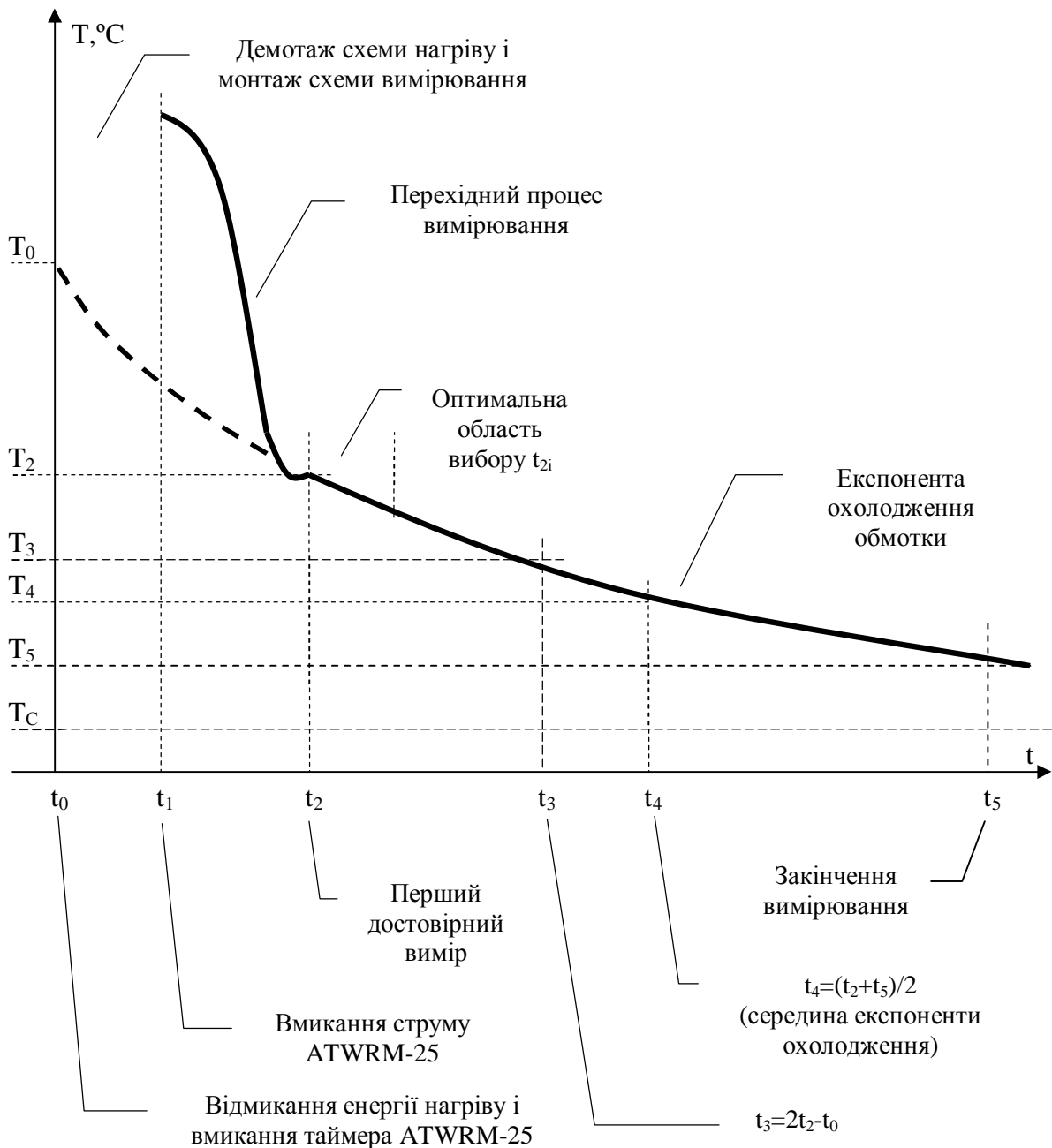
$$T = T_C + A \cdot e^{-t/\tau} \quad (2)$$

де  $T$  – поточна температура обмотки;

$T_C$  – температура охолодного середовища;

$A$  – температура перегріву обмотки стосовно температури охолодного середовища у момент відмикання ( $t=t_0$ ) енергії нагріву трансформатора;

$\tau$  – стала часу охолодження трансформатора.



Крива охолодження обмотки у часі

У часі графік складається з трьох основних відрізків: перший відрізок ( $t_0 - t_1$ ) – час демонтажу схеми підведення енергії і монтажу вимірювальної схеми, другий відрізок ( $t_1 - t_2$ ) – час перехідного процесу вимірювання, третій відрізок ( $t_2 - t_5$ ) – час від першого достовірного відліку температури до закінчення вимірювання.

Алгоритм обчислення температури  $T_0$  складається з двох кроків:

- обчислення температури охолодного середовища  $T_c$ ;
- обчислення температури обмотки.

Для обчислення температури охолодного середовища оператор за допомогою курсора на графіку, що відображений на дисплеї приладу, вибирає точку  $t_2$  закінчення перехідного процесу вимірювання. Критерієм вибору  $t_2$  є стабілізація тестового струму і стабільний тренд показів в напрямку спадання без коливного процесу. Як результат, в автоматичному режимі відбувається

визначення середини відрізка  $t_2 - t_5$  (точка  $t_4$ ) і відповідні їм значення температури. Якщо  $t_4 - t_2 = t_5 - t_4$ , для експоненти справедливе співвідношення

$$\frac{T_2 - T_4}{T_2 - T_C} = \frac{T_4 - T_5}{T_4 - T_C},$$

звідки:

$$T_C = \frac{T_4^2 - T_2 T_5}{2T_4 - T_2 - T_5}. \quad (3)$$

Обчислюється температура обмотки за алгоритмом, подібним до першого. Визначаємо точку  $t_3$  за критерієм:  $t_2 - t_0 = t_3 - t_2$ . Рівність вказаних інтервалів забезпечує співвідношення:

$$\frac{T_0 - T_2}{T_0 - T_C} = \frac{T_2 - T_3}{T_2 - T_C} \text{ звідки, при відомому } T_C$$

$$T_0 = \frac{T_2^2 + T_C T_3 - 2T_C T_2}{T_3 - T_C}. \quad (4)$$

**3. Висновок.** Вказані обчислення відбуваються в автоматичному режимі зразу ж після вибору і фіксації оператором точки  $t_2$  на осі часу. Обчислення, що покладені в основу алгоритму, є модифікацією та аналітичним поданням методу графічної екстраполяції, що рекомендований стандартом ДСТУ 3645-97. Така модифікація стала можливою завдяки автоматичній прив'язці кожного виміру до часової осі, а також подання кожної точки графіка, як результат усереднення в її околі, що зменшило похибку екстраполяції, притаманну графічному методу. Повторні обчислення  $T_{0i}$  для інших точок  $t_{2i}$ , що можуть бути вибраними в оптимальній області, повинні підтвердити перший результат  $T_{01}$ , відповідність прийнятій аналітичній моделі і викликати певне довір'я до результату вимірювання. При розкиді значень множини  $T_{0i}$  усереднення згідно з виразом

$$\bar{T}_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{0i} \text{ значно зменшить похибку кінцевого вимірювання.}$$

1. ДСТУ 3645-97. Трансформатори силові. Допустимі перевищення температури та методи випробування на нагрівання. Держстандарт України, 2000. 2. Іванусів О.В., Добуш Ю.Д., Гупало О.В., Брикін В.К., Чорненький Н.С., Козевич О.П. Основні проблеми і методи вимірювання активного опору обмоток силового електричного обладнання // *Енергетика и електрифікація*, б'.2004.