

ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОСНОГО ЗНОШЕННЯ ІЗОЛЯЦІЇ ОБМОТОК СИЛОВОГО МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

¹Вінницький національний технічний університет

²Подільський науково-технічний ліцей для обдарованої молоді

Анотація

Запропоновано формулу для визначення відносного зношення ізоляції обмоток силового трансформатора на базі формули Монтзінгера з урахуванням вологості твердої ізоляції, наявності кислот в маслі, концентрації кисню в маслі та температури навколишнього середовища.

Ключові слова: трансформатор, зношення ізоляції, формула Монтзінгера.

Abstract

A formula for determining the relative wear of the insulation windings of a power transformer based on the Montzinger formula is proposed, taking into account the humidity of the solid insulation, the presence of acids in oil, the concentration of oxygen in oil, and the ambient temperature.

Keywords: transformer, insulation wear, Montzinger formula.

Вступ

Більшість силових трансформаторів, які вже відпрацювали свій нормований ресурс, ще залишаються працездатними й здатними виконувати свої функції [1]. Однак при цьому потрібно уникати режимів перевантаження та аварійних режимів, не хештуючи своєчасним проведенням випробувань.

Обмотка є одним з найбільш вразливим елементом конструкції силового масляного трансформатора, який найбільш часто виходить з ладу. Це відбувається через старіння ізоляції обмотки як в стаціонарних режимах роботи, що відповідає природньому старінню, так і в режимах перевантаження та аварійних режимах, що призводить до прискореного старіння.

Здійснивши аналіз причин зменшення ресурсу обмоток силового масляного трансформатора, можна стверджувати, що основними з них є вологість твердої ізоляції, наявність кислот в маслі, підвищена концентрація кисню в маслі та температура навколишнього середовища. Останній показник враховує ту особливість розміщення трансформатора, коли він або знаходиться під безпосереднім потраплянням на нього сонячних променів, або ж коли на нього діють інші джерела теплової енергії. Як перша, так і друга причина призводить до додаткового нагрівання баку трансформатора, а як наслідок, – і масла в баку, і самих обмоток.

В роботі [2] – [4] запропоновано здійснювати діагностування трансформаторів з використанням теорії нечітких множин. Та більшість робіт орієнтовані на використання формули Монтзінгера для визначення відносного зношення ізоляції обмоток [5] – [9]. Саме на останньому підході сконцентрована увага даного дослідження.

Метою роботи є удосконалення формули Монтзінгера для визначення відносного зношення ізоляції обмоток силового трансформатора з урахуванням вище перерахованих параметрів.

Результати дослідження

Запропоновано формулу для визначення відносного зношення ізоляції обмоток трансформатора для інтервалу часу $(t_0, t_0 + T)$ з урахуванням вище перерахованих параметрів:

$$L(t_0, t_0 + T) = \left(\frac{C_{вол}}{C_{вол.баз}} \right)^\alpha \cdot \left(\frac{C_{кисл}}{C_{кисл.баз}} \right)^\beta \cdot \left(\frac{C_{O_2}}{C_{O_2.баз}} \right)^\gamma \cdot \left(\frac{C_{зовн,t}}{C_{зовн,t,баз}} \right)^\nu \cdot \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} e^{\left(\frac{\ln 2 \cdot (\theta_h - 98)}{\Delta} \right)} dt, \quad (1)$$

де t_0 – початок відліку; T – тривалість зношення ізоляції; Θ_h – температура найбільш нагрітої точки обмотки, °C (приймаємо $\Theta_h = 104^\circ\text{C}$); Δ – інтервал температур Θ_h , на якому відбувається подвійне зношення ізоляції ($\Delta = 6^\circ\text{C}$ – для міжнародного стандарту ІЕС 60076-7); $C_{\text{вол}}$ – вміст вологості твердої ізоляції, %; $C_{\text{вол.баз}}$ – базове значення вмісту вологості твердої ізоляції, % (приймаємо $C_{\text{вол.баз}} = 0,3\%$ для «сухої ізоляції» і температурі 98°C); $C_{\text{кисл}}$ – вміст кислот в маслі, мг КОН/г; $C_{\text{кисл.баз}}$ – базове значення вмісту кислот в маслі, г/т (приймаємо в першому наближенні $C_{\text{кисл.баз}} = 0,01$ мг КОН/г); C_{O_2} – вміст кисню в маслі, мг КОН/г; $C_{O_2.баз}$ – базове значення вмісту кисню в маслі, г/т (приймаємо в першому наближенні $C_{O_2.б} = 0,1$ мг КОН/г); $C_{\text{зовн.т}}$ – температура зовнішнього середовища, °C; $C_{\text{зовн.т.баз}}$ – базове значення зовнішньої температури, °C (приймаємо в першому наближенні $C_{\text{зовн.т.баз}} = 24^\circ\text{C}$); $\alpha, \beta, \gamma, \nu$ – показники ($\alpha = 1,493$; $\beta = 2,05$; $\gamma = 2,05$; $\nu = 1,2$).

Якщо у вираз (1) покласти поточні значення вмісту вологості твердої ізоляції $C_{\text{вол}} = C_{\text{вол.баз}}$, вмісту кисню в маслі $C_{O_2} = C_{O_2.баз}$, вмісту кислот в маслі $C_{\text{кисл}} = C_{\text{кисл.баз}}$ та температуру зовнішнього середовища $C_{\text{зовн.т}} = C_{\text{зовн.т.баз}}$, то динаміка зміни відносного зношення ізоляції при таких значеннях при зміні температури обмотки буде мати вигляд, показаний на рис. 1.

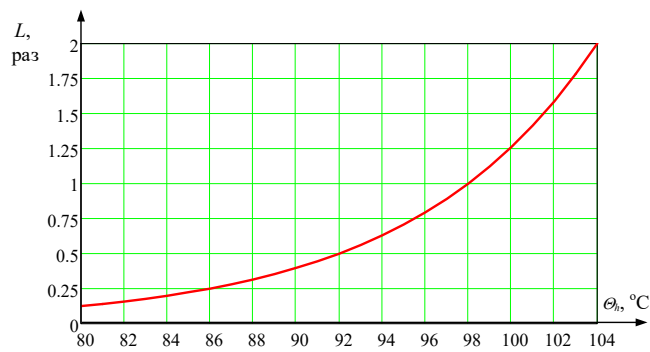


Рис. 1. Залежність відносного зношення ізоляції при базових значеннях $C_{\text{вол.баз}}$, $C_{\text{кисл.баз}}$, $C_{O_2.баз}$ та $C_{\text{зовн.т.баз}}$ від температури обмотки

Досліджено вплив кожного з параметрів окремо на відносне зношення ізоляції обмоток трансформатора, а також при одночасній зміні вологості твердої ізоляції обмотки $C_{\text{вол}}$, кислоти в маслі $C_{\text{кисл}}$, кисню в маслі C_{O_2} та температури зовнішнього середовища $C_{\text{зовн.т}}$.

Результати розрахунків при таких змінах приведені в табл. 1 та на рис. 2.

Табл. 1 – Параметри відносного зношення ізоляції при одночасній рівномірній зміні $C_{\text{вол}}$, $C_{\text{кисл}}$, C_{O_2} та $C_{\text{зовн.т}}$

Параметр	Значення параметра, при його збільшенні на			
	15%	30%	50%	70%
$K_{\text{вол}}, \%$	1,23	1,48	1,83	2,21
$K_{\text{кисл}}, \%$	1,33	1,71	2,3	2,3
$K_{O_2}, \%$	1,33	1,71	2,3	2,3
$K_{\text{зовн.т}}, \%$	1,18	1,37	1,63	1,89
$L(90), \%$	1,03	2,36	6,24	14,59
$L(100), \%$	3,26	7,49	19,8	46,32
$L(104), \%$	5,17	11,87	31,42	73,53

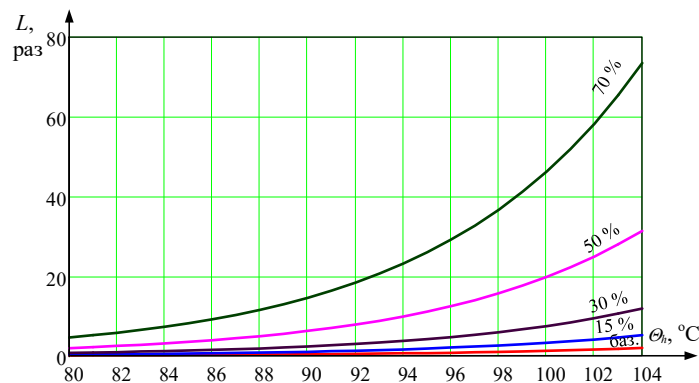


Рис. 2. Залежність відносного зношення ізоляції при одночасній рівномірній зміні на $C_{\text{вол}}$, $C_{\text{кисл}}$, C_{O_2} та $C_{\text{зовн.т}}$ від температури обмотки

Висновки

Встановлено, що при збільшенні вологості в ізоляції в 2 рази при незмінних інших параметрах коефіцієнт впливу вологи зростає в 2,82 разів, а при збільшенні до 5% (16,7 разів) – в 69,91 разів, а це означає, що в стільки ж разів швидше відбувається відносно зношення ізоляції. При збільшенні кислот та кисню в маслі в 2 рази при незмінних інших параметрах коефіцієнт впливу кислот зростає в 4,14 разів, а при збільшенні в 15 разів – в 257,62 разів. При збільшенні зовнішньої температури в 2,5 рази при незмінних інших параметрах коефіцієнт впливу зовнішньої температури збільшується в 3 рази.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Розводюк М.П. Синтез структури пристрою для контролю технічного стану силового масляного трансформатора / М.П. Розводюк, С.С. Левашов // Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (МН-2019), м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 11-30 травня 2019 р. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2019/paper/view/6231>
2. Лежнюк П.Д. Діагностування силових трансформаторів з використанням нечітких множин / П.Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко, І.А. Жук // Вісник ВПІ. – 2005. – №1. – С. 43-51.
3. Рубаненко О.Є. Нейро-нечітке моделювання в задачах оперативного діагностування електрообладнання. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/3772/1/03.pdf>
4. Розводюк М. П. Визначення залишкового ресурсу силового масляного трансформатора на базі нечіткої логіки / М.П. Розводюк, В.В. Овчарук, В.С. Вдовиченко, І.М. Овчар // Monografia. Pokonferencyjna. Science, research, development #16. Technics and technology. Barcelona 29.04.2019 - 30.04.2019. – Zbiór artykułów naukowych enzowanych. Zbiór artykułów naukowych z Konferencji Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej (on-line) zorganizowanej dla pracowników naukowych uczelni, jednostek naukowo-badawczych oraz badawczych z państw obszaru byłego Związku Radzieckiego oraz byłej Jugosławii. (30.04.2019). – Warszawa, 2019. – 84 str. – S.71-77.
5. Конограй С.П. Применение модели старения твёрдой изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов для их диагностики в режиме эксплуатации / С.П. Конограй // Електротехніка і Електромеханіка. – 2010. – №1. – С. 43-45.
6. Поляков М.А. Оценка остаточного ресурса изоляции на основе учета индивидуальных особенностей жизненного цикла силового трансформатора / М.А. Поляков, В.В. Василевский // Електротехніка і Електромеханіка. – 2014. – №3. С. 38-41.
7. Василевский В.В. Оценка расхода ресурса бумажной изоляции силового маслонаполненного трансформатора с помощью уточненной формулы интеграла старения / В.В. Василевский // Електротехніка і Електромеханіка. – 2015. – №1. – С. 16-19.
8. Пат. 135969 UA, МПК G07C 3/10. G07C 3/14, H02P 29/00. Пристрій для визначення залишкового ресурсу електричного двигуна / Розводюк М.П., Овчарук В.В., Овчар І.М., Вдовиченко В.Є. – № u 201901819; заявл. 22.02.2019; опубл. 25.07.2019, Бюл. № 14. – 16 с. : кресл.
9. Мокін Б. І. Математичні моделі та системи технічної діагностики основних електротехнічних систем міських трамваїв : монографія / Б. І. Мокін, М. П. Розводюк. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 126 с.

Розводюк Михайло Петрович – к.т.н., доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, rozvodiukmp@gmail.com

Вдовиченко Віталій Євгенійович – студент факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, vitosvdovychenko0704@gmail.com

Розводюк Катерина Михайлівна – учениця Подільського науково-технічного ліцею для обдарованої молоді, Вінниця, rozvodiukkm@gmail.com

Rozvodiuk Mykhailo P. – Cand. Sci (Tech.), Associate Professor, Department of electromechanical systems automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rozvodiukmp@gmail.com

Vdovychenko Vitalii E. – student of Faculty of Electricity and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, vitosvdovychenko0704@gmail.com

Rozvodiuk Kateryna M. – student of Podillya scientific and technical Lyceum for gifted youth, Vinnytsia, rozvodiukkm@gmail.com