

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ МАСЛОНАПОВНЕНОГО ВИСОКОВОЛЬТНОГО ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ТА СИСТЕМ НА ОСНОВІ КОНТРОЛЮ СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ

Загайнова О. А., Сердюкова Г. М.

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Запропоновано алгоритм підвищення експлуатаційної ефективності ізоляції конденсаторного типу високовольтних вводів на основі контролю стану ізоляції, який враховує особливості старіння ізоляції на тривалих інтервалах експлуатації.

Постановка проблеми. Підвищення показників ефективності експлуатації маслонаповненого обладнання (МНО) завжди було актуально і набуває все більшої значущості. Це пов'язано з декількома обставинами.

В електроенергетиці України, також як і в інших країнах, в даний час в експлуатації знаходиться велика кількість силових трансформаторів, вимикачів і реакторів з тривалим терміном служби, який в основному становить 25 років і більше [1]. Заміна такого обладнання потребує великих економічних вкладень. Крім того, в даний час відбувається перехід від профілактичного ремонту на ремонт обладнання по його технічному стану.

Аналіз роботи електрообладнання показує, що більша частина відмов і пошкоджень до 53% припадає на високовольтні вводи, причому - 76% в основному на вводи трансформаторів. Така низька надійність трансформаторних вводів частково може бути пояснена умовами їх роботи, впливом температури верхніх шарів масла, яка може досягати 80 ° С, істотними заводськими дефектами конструкцій і виготовлення.

Виходячи з досвіду експлуатації енергосистем різних країн, є можливість істотно продовжити термін експлуатації МНО за умови проведення якісного і повного діагностування, раннього усунення виявлених дефектів шляхом недорогого відновного ремонту.

До основних видів електрообладнання високої напруги, від працездатності якого в значній мірі залежить надійна робота електричних мереж і систем, відносяться: силові трансформатори, автотрансформатори, реактори, високовольтні вводи, масляні вимикачі, вимірювальні трансформатори струму (ТТ) і напруги, вольтододаткові трансформатори.

У перерахованих типах обладнання, що мають ізоляцію конденсаторного типу, поява і розвиток дефектів, а також умови роботи ізоляції, мають ряд загальних закономірностей, тому діагностика маслонаповненого високовольтного обладнання являє собою самостійну задачу.

Для вводів силових трансформаторів і трансформаторів струму створена система діагностики і контролю електричних параметрів внутрішньої ізоляції під робочою напругою.

Визначено граничні значення діагностичних параметрів, які є ознаками розвивається дефекту в ізоляції конденсаторного типу. У керівних документах (КД) [2] нормується значення контрольованих параметрів і граничні значення цих параметрів.

Погіршення електричних характеристик ТТ і вводів з конденсаторної паперово-масляною і RIP ізоляцією в більшості випадків відбувається не миттєво і може бути своєчасно діагностовано при наявності системи безперервного контролю.

Удосконалення методів і пристроїв безперервного контролю ізоляції конденсаторного типу енергетичного обладнання високої напруги повинно бути направлено на підвищення достовірності контролю і найбільш повний облік тих чинників, які впливають на зміну діагностичних ознак.

Вирішення цих завдань дозволить підвищити експлуатаційну ефективність маслонаповненого обладнання, а, отже, надійність електропостачання споживачів.

Таким чином, підвищення достовірності контролю ізоляції конденсаторного типу в маслонаповненому високовольтному обладнанні і, тим самим, підвищення його експлуатаційної ефективності вимагає подальших розробок відповідних методів, а також апаратних і програмних реалізацій цих методів як елементів АСК ТП ПС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш поширеним видом ізоляції вводів з напругою 110 кВ і вище є паперово-масляна ізоляція конденсаторного типу.

Проблема пошкодження високовольтних герметичних вводів трансформаторів викликала необхідність глибокого вивчення причин що приводять до пошкоджень, розробки досконаліших методів контролю стану і заходів щодо підвищення їх надійності [3].

Актуальність даного дослідження обумовлена тим, що вдосконалення критеріїв діагностики і методів аналізу діагностичної інформації підвищує об'єктивність оцінки технічного стану високовольтного маслонаповненого обладнання, що робить надійніше експлуатацію електрообладнання, продовжує ресурс його роботи, дозволяє економити кошти, знижує ризики збитків.

Мета статті. У даній праці за допомогою методів статистичного аналізу створюються моделі вимірювального контролю високовольтних вводів, проводиться дослідження цих моделей, тобто визначаються найбільш інформативні показники технічного стану високовольтних вводів, а також проводиться ранжирування всіх наявних показників.

Основні матеріали дослідження. У якості вихідних даних використовуються результати профілактич-

них випробувань ізоляції високовольтних введень, які заносяться в карти контролю.

У них приводяться: фаза, на якій установлений контрольований високовольтне уведення; номінальна напруга високовольтного уведення; тип уведення; дата виготовлення й введення в експлуатацію; дата проведення випробувань із моменту включення під напругу; опір основної ізоляції; опір масляного каналу; тангенс кута діелектричних втрат й ємність основної ізоляції; тангенс кута діелектричних втрат й ємність масляного каналу; температури при випробуванні уведення.

Були проаналізовані карти профілактичного контролю високовольтних маслонаповнених уведень конденсаторного типу на номінальну напругу 220 кВ для чотирьох трансформаторів підстанції "Сі" по фазах "А", "В" і "С". Період профілактичних випробувань високовольтних уведень склав 30 років.

Для проведення аналізу попередньо були виділені чотири показники контролю - це тангенс кута діелектричних втрат основної ізоляції, ємність основної ізоляції, тангенс кута діелектричних втрат масляного каналу і ємність масляного каналу.

Результати профілактичного контролю піддаються нормуванню, у результаті чого контрольовані параметри одержують наступні властивості: математичного очікування параметра Y дорівнює нулю; середнє квадратичне відхилення - одиниці. Вісь часу представлені у вигляді кількості днів, за початкову точку відліку приймається дата першого виміру. Для виконання нормування розроблена програма мовою Pascal – "narm.pas".

Нехай вхідна перемінна t (час експлуатації), контролюється без помилок, а вихідна перемінна Y (показник контролю) є випадковою величиною. Якщо Y є функцією від t , то можна записати вираження

$$Y = b_0 + b_1 \cdot t, \quad (1)$$

Регресійний аналіз математичної моделі вимірювального контролю високовольтних уведень полягає в знаходженні коефіцієнтів b_0 й b_1 обраної моделі, і аналізі ступеня зв'язку між незалежною перемінною (час) і залежний перемінної (результати профілактичних випробувань) [4].

У регресійному аналізі передбачається, що можна прямо або побічно контролювати одну або декілька незалежних перемінних, і їхнього значення разом з безліччю параметрів визначають математичне очікування залежної перемінної Y . Спочатку передбачається існування функціональної залежності виду (1).

Фактором, що впливає, є t - час (модель параметрична). Щоб знайти коефіцієнти b_0 , b_1 визначимо суму квадратів відхилень значень Y_i від лінійної регресії:

$$S = \sum_{i=1}^n [Y_i - (b_0 + b_1 \cdot t_i)]^2. \quad (2)$$

Необхідно підібрати такі параметри b_0 й b_1 , щоб сума квадратів відхилень була мінімальною.

Вираження (2) – це парабола, вона має один екстремум. Якщо продиференціювати (2) і прирівняти до нуля, знайдемо мінімум цієї функції.

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n Y_i - nb_0 - b_1 \sum_{i=1}^n t_i = 0 \\ \sum_{i=1}^n Y_i \cdot t_i - b_0 \sum_{i=1}^n t_i - b_1 \sum_{i=1}^n t_i^2 = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Після нескладних перетворень одержимо вираження для знаходження коефіцієнтів b_0 й b_1 .

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - b_1 \sum_{i=1}^n t_i}{n}, \quad (4)$$

$$b_1 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i t_i - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \right) \cdot \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \right)}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \right)^2}, \quad (5)$$

де $\text{cov}(t, Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i t_i - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \right) \cdot \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \right)$ – коваріація між t й Y ;

b_0 – математичне очікування величини Y .

Якщо в результаті розрахунку $b_1 = 0$, то фактор t не впливає на параметр Y . Якщо $b_1 \neq 0$, то фактор t впливає на параметр Y , тобто процес стає нестабільним і із часом (зміна параметра t) відбуваються зміни величини Y .

Ступінь впливу параметра t на параметр Y оцінюється за допомогою коефіцієнта парної кореляції. Для практичних розрахунків при використанні параметричної регресії зручніше користуватися виразом [5]:

$$R = \frac{n \sum_{i=1}^n t_i \cdot Y_i - \sum_{i=1}^n t_i \cdot \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{n \cdot \sum_{i=1}^n t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2} \cdot \sqrt{n \cdot \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2}}, \quad (6)$$

де n – число вимірювань кожного параметра.

Вихідні дані для аналізу повинні бути представлені у вигляді табл. 1. Де перший рядок - це фактор, що впливає, у нашому випадку, час. У другому рядку приводяться значення контрольованого параметра.

Таблиця 1 – Вид вихідних даних

X	X ₁	X ₂	...	X _n
Y	Y ₁	Y ₂	...	Y _n

Для проведення регресійного аналізу була використана програма cor1.pas. Результати регресійного аналізу зведені в табл. 2. В результаті отримуємо рівняння у вигляді моделі для кожного параметра по кожній фазі.

Позначення в таблиці: $\text{tg}\delta_1$ – тангенс кута діелектричних втрат основної ізоляції, $\text{tg}\delta_2$ – тангенс кута діелектричних втрат масляного каналу, C_1 – ємність основної ізоляції, C_2 – ємність масляного каналу, R_{i3} – опір основної ізоляції. На рис.1 представлені профілактичні дані і регресії по $\text{tg}\delta_1$ для фази А.

Таблиця 2 – Рівняння регресії

Фаза	Параметр	Рівняння регресії
А	R_{i3}	$Y = 0,0265t + 4705,8$
	$\text{tg}\delta_1$	$Y = 5 \cdot 10^{-5}t + 0,2889$
	C_1	$Y = 0,0042t + 361,61$
	$\text{tg}\delta_2$	$Y = -3 \cdot 10^{-5}t + 0,8053$
	C_2	$Y = 0,0024t + 477,22$
В	R_{i3}	$Y = -0,259t + 6168,4$
	$\text{tg}\delta_1$	$Y = 4 \cdot 10^{-5}t + 0,1971$
	C_1	$Y = 0,0026t + 374,8$
	$\text{tg}\delta_2$	$Y = 2 \cdot 10^{-5}t + 0,6822$
	C_2	$Y = 0,0094t + 645,2$
С	R_{i3}	$Y = -0,1992t + 5870$
	$\text{tg}\delta_1$	$Y = 3 \cdot 10^{-5}t + 0,2722$
	C_1	$Y = -0,0004t + 364,53$
	$\text{tg}\delta_2$	$Y = 3 \cdot 10^{-5}t + 0,6889$
	C_2	$Y = 0,0057t + 668,14$

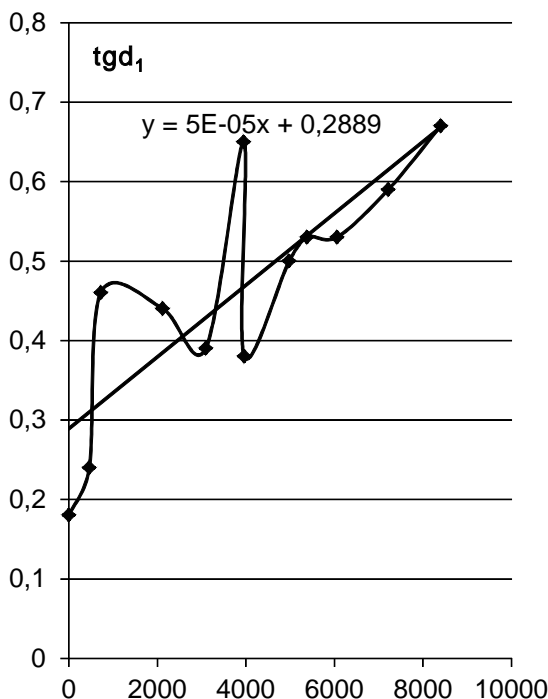


Рисунок 1 – Регресія для $\text{tg}\delta_1$ фази А

Висновки. За результатами регресійного аналізу можна зробити висновок, що найбільш корелюється з часом є тангенс кута діелектричних втрат основної ізоляції ($\text{tg}\delta_1$) і тангенс кута діелектричних втрат між останньою обкладанням і сполучною втулкою ($\text{tg}\delta_2$). Регресійний аналіз дозволяє оцінити ступінь зв'язку

між X і Y в формі функціональної залежності. Підвищити точність оцінки ступеня старіння ізоляції конденсаторного типу високовольтних ввідів за допомогою регресійних моделей старіння, можливо за рахунок обліку нелінійності функціональних залежностей показників якості ізоляції від часу експлуатації, тобто за рахунок наближення ймовірнісної моделі старіння до фізичної.

Список використаних джерел.

1. Энергетика світу та України. Цифри та факта. - Київ: Українські енциклопедичні знання, 2005. – 404 с.
2. Норми випробування електрообладнання. СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007. – К.: ОЕП ГРІФРЕ. 2009. – 232 с.
3. Аникеева М. А. Диагностические признаки для отбраковки вводов высокого напряжения с бумажно-масляной изоляцией / М. А. Аникеева, Р. С. Арбузов, С. В. Живодерников и др. // Электро.– 2009.– № 1. –С. 32-35.
4. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М.: Мир, 1981. – 520 с.
5. Давыденко А. П. Организация и планирование научных исследований, патентоведение / А. П. Давыденко. – Х: НТУ "ХПИ". – 2004. – 320с.

Аннотація

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ МАСЛОНАПОЛНЕННОГО ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Загайнова А. А., Сердюкова Г. Н.

Предложен алгоритм повышения эксплуатационной эффективности изоляции конденсаторного типа высоковольтных вводов на основе контроля состояния изоляции, учитывающий особенности старения изоляции на длительных интервалах эксплуатации.

Abstract

INCREASE OF OPERATIONAL RELIABILITY OF OIL-FILLED HIGH-VOLTAGE EQUIPMENT OF ELECTRICAL NETWORKS AND SYSTEMS BASED ON INSULATION CONDITION MONITORING

A. Zagaynova, G. Serdukova

An algorithm is suggested for increasing the operational efficiency of insulation of the capacitor type of high-voltage bushings on the basis of the control of the state of insulation, taking into account the features of aging of insulation at long service intervals.