

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Вінницький національний технічний університет;

### *Анотація*

*Виявлення небезпечних деформацій, розпресовки обмоток та оцінка механічної стійкості виткової ізоляції в комплексі визначають стан основного елемента трансформатора – обмотки. В зв'язку з цим посилюється можливість оцінки спрацьовування паперової ізоляції обмоток трансформатора. Для цього останнім часом в енергосистемах отримала розповсюдження методика оцінки стану паперової ізоляції по наявності фуранових сполучень у маслі, на основі такого аналізу можна зробити висновок стосовно придатності обладнання для подальшого використання.*

**Ключові слова:** виявлення дефектів, силовий трансформатор, діагностування.

## INVESTIGATION DIAGNOSTICS POWER TRANSFORMERS METHODS

### *Abstract*

*Detection of dangerous deformations, pressing of windings and estimation of the mechanical stability of the core insulation in the complex determine the state of the main element of the transformer - the winding. In connection with this, the possibility of evaluating the operation of the paper insulation of the windings of the transformer increases. For this purpose in recent years in the power systems the method of evaluation of the state of paper insulation due to the presence of furan combinations in oil has been disseminated, on the basis of such an analysis it can be concluded that the equipment is suitable for future use.*

**Keywords:** detection of defects, power transformer, diagnostics

### **Вступ**

Енергетика в сучасних умовах – це сукупність ряду складних систем по генерації та перетворенню енергетичних ресурсів, виробітку, передачі, та використанню всіх видів енергії.

Сучасний розвиток електроенергетики України направлений на забезпечення безперервного постачання електроенергії для всіх галузей економіки і базується на потужній, розгалуженій електроенергетичній системі, до якої входять великі електростанції, внутрішні і міжсистемні зв'язки у вигляді ліній електропередач та широкі електричні зв'язки зі споживачем.

Велика частина електрообладнання пропрацювало 25 і більше років. Економічно виправданим є експлуатація такого обладнання, якщо воно нормально функціонує за умов застосування комплексного діагностичного дослідження його стану, яке потрібно вдосконалювати та впроваджувати в експлуатацію.

Силові трансформатори (СТ) – один із основних та найдорожчих елементів електрообладнання електроенергетичної системи, причому їх вихід з ладу призводить до значних витрат на його ремонт.

**Метою роботи** роботи є вдосконалення якості діагностування силових трансформаторів шляхом обґрунтованого визначення меж діапазону частот в якому виявляються дефекти повздожньої деформації та сповзання витків обмоток.

### **Результати дослідження**

Моніторинг силових трансформаторів – одне з широко обговорюваних питань у колах експертів виробників трансформаторів та енергоспоживальних організацій, які експлуатують ці трансформатори. Різноманітні методи моніторингу [1] внесені до реєстру стандартів IEEE- standart.

Вартість методів моніторингу значно коливається в залежності від підходу побудови даних систем та вартості технічного обслуговування. Хоча й можливе часткове співпадіння функцій, методи, що пропонуються різними виробниками [1], можна поділити на чотири основні групи: датчики визначення газів у трансформаторному маслі; лабораторії, що використовуються на дільницях; системи моніторингу та керування; портативне обладнання.

Моніторинг - це постійний контроль за найбільш відповідальними або характеристичними параметрами працюючого устаткування під напругою в режимі on-line.

Оцінка фактичного стану силового електроустаткування [1] за наслідками діагностичних вимірювань є на сьогоднішній день складним і актуальним завданням. Значна частина устаткування виробила свій ресурс, але продовжує експлуатуватися через нестачу фінансових коштів. Внаслідок чого, з кожним роком, зростають витрати на проведення комплексних обстежень і діагностики.

Надійність і безперебійність роботи силових електротехнічних комплексів і систем багато в чому визначається роботою їх елементів. Основним із них є силові трансформатори. Хоча трансформатори з дефектами в активній частині можуть нормально експлуатуватися ще багато років, в місці утворення дефекту виникають процеси перенагріву, часткових розрядів (ЧР) в ізоляції, що приводить до погіршення результатів діагностичних вимірювань і аналізів. При подальшій експлуатації, у випадку виникнення КЗ, вірогідний аварійний вихід з ладу трансформатора з тяжкими наслідками.

Одним з перспективних напрямів підвищення ефективності функціонування електротехнічного маслonaповненого устаткування є вдосконалення системи технічного обслуговування і ремонтів електроустаткування.

Розроблена концепція експлуатації електротехнічного устаткування [2] по технічному стану шляхом глибшого підходу призначенню періодичності і об'ємів технічних обслуговувань і ремонтів за наслідками діагностичних обстежень і моніторингу електротехнічного устаткування в цілому і маслonaповненого трансформаторного устаткування зокрема як невід'ємного елемента будь-якої електротехнічної системи.

При переході до системи ремонтів по технічному стану якісно змінюються вимоги до системи діагностування електроустаткування, при яких головним завданням діагностування стає прогноз технічного перебування на відносно тривалий період. Рішення такої задачі не є тривіальним і можливо тільки при комплексному підході до вдосконалення методів, засобів, алгоритмів і організаційно-технічних форм діагностування.

Визначення фактичного стану устаткування засноване на оцінці контрольованих параметрів [3], для яких визначаються аварійні рівні сигналу. Для оцінки робочих параметрів трансформатора створено модель контролю за температурними режимами трансформатора.

Математичну модель трансформатора  $W$  можна представити як:

$$W = \langle P, F \rangle, \quad (1)$$

$$P = \{P_i \mid P_i \in P \subset \mathfrak{R} \wedge P_i = P_i(F)\}, \quad (2)$$

$$F = \{F_i \mid F_i \in F \wedge F_i(P) = true\} \quad (3)$$

Модель, для контролю стану трансформатора може бути реалізована на базі одно направленої функції  $F$ , що здійснює перевірочний розрахунок, перетворюючи деяку підмножину вхідних величин  $\check{P}$ , що характеризують конструкцію трансформатора, в підмножину вихідних величин  $\hat{P}$ , що характеризують параметри роботи трансформатора.

Таким чином, безліч  $P$  є об'єднанням двох підмножин:

$$P = \check{P} \cup \hat{P}. \quad (4)$$

У свою чергу, підмножина  $\check{P}$  об'єднує підмножини фіксованих змінних  $\bar{P}$  і варійованих змінних  $\tilde{P}$ :

$$\check{P} = \tilde{P} \cup \bar{P}. \quad (5)$$

Множина  $\hat{P}$  складається з підмножин результуючих значень  $P^=$  і необхідних значень  $P^*$ :

$$\hat{P} = P^= \cup P^*. \quad (6)$$

Завдання пошуку рішення полягає в тому, щоб визначити значення всіх змінних множини  $\tilde{P}$  при фіксованих значеннях множини  $\bar{P}$ , які б забезпечили збіг значень змінних множини  $P^*$  з тими значеннями  $P_0^*$ , які відповідають проектним даним при довільних значеннях змінних множини  $P^=$ . Схема пошуку рішення представлена на рисунку 1.

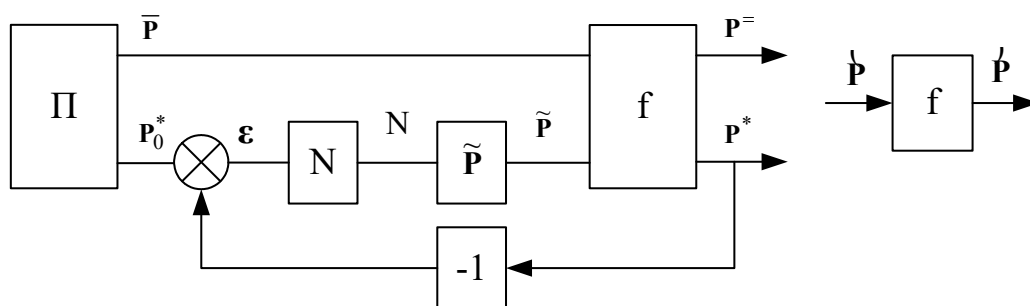


Рисунок 1 – Структурна схема підсистеми контролю стану трансформатора

Параметри стану  $\Pi$ , які визначені значення змінних з множин  $\bar{\mathbf{P}}$  і  $\mathbf{P}_0^*$ . На кожному кроці пошуку розраховуються відхилення  $\varepsilon_i = P_{i0}^* - P_i^*$  і середньоквадратична нев'язність:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^{N^*} \left( \frac{P_{i0}^* - P_i^*}{P_{i0}^*} \right)^2}{N^*} . \quad (7)$$

Завдання вважається вирішеним, якщо знайдений такий стан множини  $\tilde{\mathbf{P}}$ , при якому забезпечується рівність  $P^* = P_0^*$ . Пошук рішення здійснюється шляхом мінімізації не в'язності (7) методом Девідона – Флетчера – Пауелла.

### Висновки

Аналіз особливостей та пошкоджуваності силових трансформаторів вітчизняного та закордонного виробництва свідчить проте, що місце експлуатації трансформатора впливає на вид пошкодження, однак серед всіх пошкоджень трансформаторів має місце пошкодження у вигляді зсуву обмоток.

Дослідження методів частотного діагностування силових трансформаторів свідчить про те, що найбільш широко використовуються метод змінюваної частоти, метод резонансних частот, метод частотної аналізу амплітуди, метод імпульсної напруги, метод з використанням синусоїдного та імпульсного тестового сигналу, метод контролю передатної функції та метод контролю вхідного комплексного опору та інші.

Проведені дослідження свідчать, що дефектами обмоток трансформаторів є пошкодження ізоляції, осьові та радіальні деформації, зсуви витків, пожежі в сталі та інші.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. K. Ragavan, L. Satish, “An Efficient Method to Compute Transfer Function of a Transformer from Its Equivalent Circuit”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, No. 2, P 780–788, April 2015.
2. K. G. N. B. Abeywickrama, Y. V. Serdyuk, S. M. Gubanski, “Exploring Possibilities for Characterization of Power Transformer Insulation by Frequency Response Analysis (FRA)”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 21, No. 3, P 1375–1382, July 2016.
3. P. I. Fergestad, T. Henriksen, “Transient oscillations in multiwinding transformers”, IEEE Transactions on Power Systems and Apparatus, Vol. PAS–93, No. 2, pp. 500–509, March 2014.

**Добровольський В.А.** — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vova.dobro2398gmail.com

Науковий керівник: **Писклярєва Анна Валеріївна**— кандидат технічних наук, доцент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [panna@vntu.edu.ua](mailto:panna@vntu.edu.ua)

**Dobrovolsky V.A** - student, faculty of electroenergy and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vova.dobro2398gmail.com

Scientific supervisor: **Pysklyarova Anna Valeriyevna** - candidate of technical sciences, associate professor, faculty of electroenergy and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [panna@vntu.edu.ua](mailto:panna@vntu.edu.ua)