

УДК 621.314

О. А. ЗАГАЙНОВА

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"  
zagaynova@gmail.com

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ КОНТРОЛЮ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВНУТРІШНЬОЇ ІЗОЛЯЦІЇ КОНДЕНСАТОРНОГО ТИПУ ВИСОКОВОЛЬТНОГО УСТАТКУВАННЯ ПІД РОБОЧОЮ НАПРУГОЮ

*Запропоновано метод та пристрій для безперервного контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу високовольтних вводів силових трансформаторів та вимірювальних трансформаторів струму під робочою напругою електроустановки.*

*Ізоляція, трансформатор, високовольтний ввід, діагностика, пристрій контролю, високовольтне устаткування*

**Постановка проблеми.** Безперервна діагностика стану ізоляції конденсаторного типу високовольтних вводів і опорних трансформаторів струму під робочою напругою надає можливість виявити дефекти в ізоляції на ранніх стадіях їх виникнення (дефекти, що розвиваються) та запобігти раптовим відмовам в електроенергетичних системах в наслідок пошкодження вказаного вище маслонаповненого енергетичного обладнання. Сучасній тенденції відповідає реалізація технічних рішень, направлених на підвищення достовірності контролю ізоляції конденсаторного типу, на основі промислових ЕОМ, оскільки при цьому можливий якнайповніший облік тих чинників, що впливають на змінну діагностичних ознак об'єктів контролю та принципова можливість реалізації декількох методів контролю (пооб'єктного методу за зміною модуля повної провідності ізоляції конденсаторного типу, нерівноважно-компенсаційного методу та ватметрового методу). У статті пропонується метод діагностики ізоляції конденсаторного типу та описується пристрій, за допомогою якого цей метод було реалізовано.

**Аналіз публікацій.** В енергосистемах отримали поширення пристрої безперервного контролю об'єктів під робочою напругою, засновані на способі перевірки мінімальним струмом витоку. Це – нерівноважно-компенсаційний метод. Крім того, іншим методом, мостовим, може контролюватися зміна різниці тангенсів кута діелектричних втрат ізоляції та ємності двох однойменних фаз електричних установок різних приєднань [1, 2].

Забезпечення високої чутливості пристроїв, що реалізують спосіб контролю, заснований на нерівноважно-компенсаційному методі, можливе лише при зменшенні сумарного струму небалансу, тобто суми струмів несиметрії і впливу, а також фільтрації гармонійних складових. Струм, що з'явився на виході суматора після симетризування схеми, може бути викликаний як розвитком дефекту в одному з контрольованих об'єктів, так і зміною струму впливу чи іншими завадами [2]. Фільтрація гармонійних складових виключає важливий діагностичний параметр – появу третьої гармоніки в струмі витоку, що є ознакою дефекту, що розвивається, ізоляції конденсаторного типу [3]. У процесі контролю мостовим методом вимірюється тангенс диференційного кута. Цей метод є більш результативним [2].

Відомий також спосіб контролю об'єктів під робочою напругою, що передбачає визначення відношення модуля приросту струму витоку кожного з контрольованих об'єктів до модуля струму витоку через його ізоляцію при відсутності дефекту і перевірці нормованого струму, [1, 4,5]. Однак, реалізація цього способу контролю, коли вимірюється струм на виході приєднання, тобто в колі заземлення виводу від вимірювальної обкладинки ізоляції об'єкта, характеризується тим, що цей струм являє собою суму струму витоку через ізоляцію (діагностичний параметр) і струму впливу, що протікає від обмоток (для вводів), шин, сусіднього устаткування внаслідок впливу електричного поля електроустановки [1,2,4]. Природно, що в цьому випадку підвищення достовірності контролю залежить від зменшення погрешностей, викликаних струмами впливу. Відомі [1] методи зменшення цих погрешностей, що використовуються стосовно до відповідного способу контролю. Слід зазначити, що амплітуда і фаза струму впливу в колі заземлення виводу від вимірювальної обкладинки ізоляції об'єкта визначається низкою важко враховуваних факторів, таких як: конструкція устаткування, його розташування на території електроустановки, робоча напруга, зміна схеми комутації електроустановки й інших.

Відомий також спосіб контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу об'єктів під робочою напругою, що передбачає контроль зміни модуля повної провідності вказаної ізоляції [6].

Однак, як відмічається в роботі [7], на першій стадії розвитку дефекти в ізоляції конденсаторного типу можна виявити вимірюванням тангенса кута діелектричних втрат  $tg \delta$  під робочою напругою та тепловізійними вимірами.

© Загайнава О. А., 2011

В [1] наведено ватметровий метод, що дає практичне співпадіння результатів вимірювань  $tg\delta$  ізоляції вводів трансформаторів струму 330 кВ з даними вимірювань мостовою схемою при напрузі 10 кВ. Метод базується на вимірюванні потужності втрат. Згідно [1] при реалізації цього методу кола напруги схеми живляться від вторинної обмотки трансформатора напруги підстанції, а струмові кола – через узгоджувальний трансформатор струму, що необхідний для розв'язки кіл заземлення об'єкта контролю і трансформатора напруги. Виключення систематичної погрішності досягається при цьому введенням в схему вимірювань пристрою для створення кутового зсуву, що дорівнює сумарному зсуву фаз внаслідок вказаних вище факторів, або відніманням від результатів вимірів відповідної поправки.

**Мета статті.** Удосконалення методики та розробка пристрою контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу високовольтного устаткування під робочою напругою.

**Основна частина.** Удосконалення методики контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу вводів силових трансформаторів і вимірювальних трансформаторів струму під робочою напругою, по якому перевіряють у часі зміни потужності втрат в ізоляції контрольованого об'єкта як результати опосередкованих вимірювань, що визначається по результатам прямих вимірювань струму в колі заземлення виводу від вимірювальної обкладинки ізоляції об'єкта контролю і фазної напруги вказаного об'єкта, множення миттєвих значень струму на миттєві значення напруги і розрахунку середнього значення добутку за період промислової частоти, забезпечити підвищення достовірності контролю.

Задача вирішується у такий спосіб: вимірюють навантаження і коефіцієнт потужності навантаження вимірювального трансформатора напруги, приєднаного до тієї ж фази системи шин, що і контрольований об'єкт, при відсутності дефекту і при контролі, розраховують його погрішність в напрузі і кутову, з компенсацією яких визначають фазну напругу об'єкта контролю і результат опосередкованих вимірювань потужності втрат, а також запам'ятовують значення робочої фазної напруги при відсутності дефекту та множать при кожному контролі результат опосередкованих вимірювань потужності втрат в ізоляції контрольованого об'єкта на квадрат відношення робочих фазних напруг при відсутності дефекту і при контролі.

На рисунку наведена функціональна схема пристрою контролю [8], яка реалізована на основі цифрової техніки та промислових ЕОМ. До схеми контролю належать: 1 – ізоляція конденсаторного типу об'єкта контролю трансформаторної системи; 2 – вимірювальний резистор пристрою приєднання до низкопотенційного виводу вимірювальної обкладинки ізоляції конденсаторного типу; 3 – вимірювальний трансформатор напруги, приєднаний до тієї ж фази системи шин, що і контрольований об'єкт; 4 – пристрій контролю на основі цифрової техніки; 5 – промислова ЕОМ.

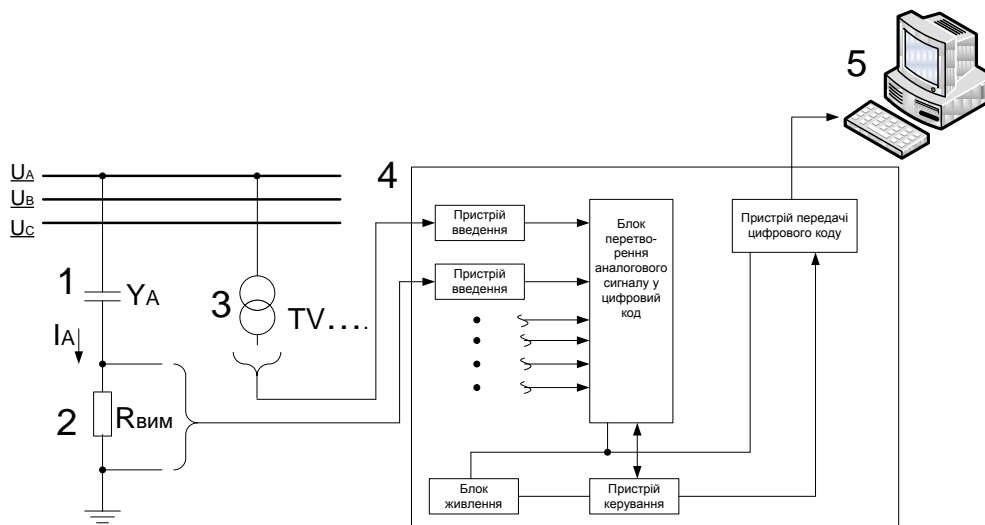


Рисунок - Функціональна схема пристрою контролю

Істотна відмінність в порівнянні з іншими пристроями полягає в тім, що при перевірці у часі зміни потужності втрат в ізоляції контрольованого об'єкта, отриманої як результат опосередкованих вимірювань, що визначається по результатам прямих вимірювань струму в колі заземлення виводу від вимірювальної обкладинки ізоляції об'єкта контролю і фазної напруги вказаного об'єкта, множення миттєвих значень струму на миттєві значення напруги і розрахунку середнього значення добутку за період промислової частоти, виконують вимірювання навантаження і коефіцієнт потужності навантаження вимірювального трансформатора напруги приєднаного до тієї ж фази системи шин, що і контрольований об'єкт, при відсутності дефекту і при контролі, розраховують його погрішність в напрузі і кутову, з компенсацією яких визначають фазну напругу об'єкта контролю і результат опосередкованих вимірювань потужності втрат, запам'ятовують значення робочої фазної напруги при відсутності дефекту та множать при кожному контролі результат опосередкованих вимірювань потужності втрат в ізоляції контрольованого об'єкта на квадрат відношення робочих фазних напруг при відсутності дефекту і при контролі.

Підвищення достовірності контролю полягає у наступному. Контроль ізоляції конденсаторного типу по зміні у часі модуля повної провідності згідно [1] характеризує як зміну  $tg\delta$ , так і ємності ізоляції конструкції, тобто  $\Delta tg\delta$  та  $\Delta C$ :

$$\left| \frac{\Delta Y}{Y_0} \right| \cong \left[ (\Delta tg\delta)^2 + (\Delta C/C_0)^2 \right]^{1/2} \quad (1).$$

Доповнення цього контролю контролем зміни у часі потужності діелектричних втрат в ізоляції, тобто зміни  $\Delta tg\delta$ , що забезпечує ватметровий метод, дає можливість класифікувати при контролі дефекти контрольованих об'єктів. Дійсно, згідно [1] при контролі під робочою напругою методи, що використовують зміну у часі діелектричних втрат, найбільш ефективні при дефектах в твердій ізоляції, що знаходяться в ізоляційному основі виробу.

Окрім того, компенсація погрішності в напрузі і кутової вимірювального трансформатора напруги дозволяє забезпечити реєстрацію дефекту, що розвивається, в ізоляції конденсаторного типу.

При цьому признаку дефекту, що розвивається, відповідає згідно [1] значення  $\Delta tg\delta$  ( $|\Delta Y/Y_0|$ )  $> 0,5\%$ .

Проаналізуємо можливість реєстрації дефекту з використанням запропонованого способу контролю на прикладі контролю ізоляції вводів 330 кВ автотрансформатора ПС «Артема-330кВ», скориставшись наведеними в роботі [6] фактичними та розрахованими даними. Так для вводів 330 кВ з параметрами  $C = 627$  пФ та  $tg\delta = 0,57$  при  $U_{роб} = U = 339,15/\sqrt{3}$  кВ маємо струм витoku  $I = 38,599 \angle 89,67^\circ$  мА та його активну складову  $I_A = 0,22$  мА. Потужність втрат відповідно складає  $P = 43,13$  Вт. Признаку дефекту, що розвивається, за умови  $\Delta tg > 0,5\%$  та при незмінності напруги об'єкта контролю  $U_{роб} = const$  відповідає зміна потужності втрат  $\Delta P = 0,22$  Вт; граничному значенню  $\Delta tg\delta = 2\%$  - відповідає  $\Delta P = 0,86$  Вт.

Реєстрація дефекту, що розвивається, з використанням способу контролю потужності втрат означає, що спосіб забезпечить можливість реєстрації, якщо максимальне значення абсолютної погрішності опосередкованих вимірювань потужності втрат в ізоляції об'єкта буде меншою, ніж  $\Delta P = 0,22$  Вт. Виконаємо оцінку середнього квадратичного відхилення випадкової погрішності  $S_{вим}$  результату опосередкованого вимірювання потужності втрат

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) \cdot u(t) dt = U \cdot I_A \quad (2).$$

Тоді згідно [8] маємо:

$$S_{вим} = \sqrt{\left( \left( \frac{\partial P}{\partial U} \right)^2 \cdot S_U^2 + \left( \frac{\partial P}{\partial I_A} \right)^2 \cdot S_{I_A}^2 \right)} = \sqrt{I_A^2 \cdot S_U^2 + U^2 \cdot S_{I_A}^2}, \quad (3)$$

де  $S_U$  та  $S_{I_A}$  - оцінки середнього квадратичного відхилення погрішності результату вимірювань  $U$  та  $I_A$ .

Зміну величини  $S_{вим}$  завдяки компенсації погрішності в напрузі і кутової вимірювального трансформатора напруги можна охарактеризувати наступним чином. Скориставшись наведеними в роботі [6] даними про оцінки  $S_U$  та  $S_{I_A}$  (оцінка середнього квадратичного відхилення погрішності результату вимірювань  $I$ ) при контролі зміни повної провідності ізоляції вводів 330 кВ автотрансформатора ПС «Артема-330кВ», що дорівнюють відповідно  $S_U = 369,228B$  та  $S_I = 0,028 \cdot 10^{-3} A$  і оцінивши  $S_{I_A}$  по  $S_I$  як

$$S_{I_A} = S_I \cdot \frac{I_A}{I} = 0,16 \cdot 10^{-6} A, \text{ отримуємо оцінку } S_{вим}:$$

$$S_{вим} = \sqrt{\left( 0,22 \cdot 10^{-3} \right)^2 \cdot 369,228^2 + \left( \frac{339,15}{\sqrt{3}} \cdot 10^3 \right)^2 \cdot \left( 0,16 \cdot 10^{-6} \right)^2} = 0,087 \text{ Вт.}$$

Таким чином, згідно [9] довірчий інтервал потужності втрат в ізоляції розглядаємих вводів 330 кВ при відсутності дефекту складає:

$$P = 43,13 \pm 3S_{вим} = 42,87 \dots 43,39 \text{ Вт,}$$

і при цьому є можливість реєстрації дефекту при  $\Delta tg\delta = 2\%$ , коли зміна потужності втрат складе

$$P = 43,7 \dots 44,25 \text{ Вт.}$$

Звичайно, компенсація погрешності в напрузі і кутової вимірювального трансформатора напруги приведе до зменшення значення  $S_U$ . Виходячи з того, що при реалізації апаратної частини способу контролю, а саме пристрою контролю (елемент 4 на рисунку) в пристроях введення сигналу від вимірювального трансформатора напруги використовуються узгоджувальні трансформатори напруги для розв'язки кіл заземлення об'єктів контролю і вимірювальних трансформаторів напруги, складова в величині  $S_U$  від яких може бути врахована відповідною поправкою, вказана вище компенсація може забезпечити  $S_U \rightarrow 0$ . Значення  $S_{\text{вим}}$ , як граничне, при цьому складе  $S_{\text{вим}} = 0,031$  Вт, а довірчий інтервал потужності втрат при відсутності дефекту

$$P = 43,13 \pm 3S_{\text{вим}} = 43,04 \dots 43,22 \text{ Вт},$$

що дає можливість реєструвати дефекти при  $\Delta \text{tg} < 2\%$ .

**Висновки.** Запропонований спосіб контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу вводів силових трансформаторів і вимірювальних трансформаторів струму під робочою напругою дозволяє класифікувати дефекти і реєструвати дефекти, що розвиваються, тобто підвищує достовірність контролю. Цей спосіб контролю орієнтовний на реалізацію як елемент АСК ТП підстанції, тобто на основі цифрової техніки і промислових ЕОМ.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Сви П.М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения / Сви П.М. – М.: Энергоатомиздат, 1992.
2. Шинкаренко Г.В. Контроль опорных трансформаторов тока и вводов силовых трансформаторов под рабочим напряжением в энергосистемах Украины / Шинкаренко Г.В. // Электр. станц. – 2001. – №5. – С. 55 – 62.
3. Ресурсные испытания и диагностика изоляции трансформаторов тока 330 кВ / [Гречко О.Н., Казачек В.Е., Петкевич Г.И., Поляков В.С., Попов В.И.] // Электр. станц. – 1995. – №12. – С. 36-43.
4. Бондаренко В.Е. Анализ методов непрерывного контроля диэлектрических характеристик изоляции при рабочем напряжении на объекте / Бондаренко В.Е., Минченко А.А. // Вестн. Харьк. госуд. политехн. универ. – Харьков: ХГПУ, 1998. – Вып. 11. – С. 55-57.
5. Патент України №34311. Спосіб контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу вводів силових трансформаторів під робочою напругою / Загайнова О.А., Мінченко А.А. – Опубл. 2008, Бюл. №15.
6. Минченко А.А. Совершенствование диагностики высоковольтной изоляции конденсаторного типа на основе учета пространственно распределенных емкостных токов: дис. канд. техн. наук / Минченко А.А. Харьков, 2006. – 277 с.
7. Поляков В.С. Анализ схем измерений характеристик изоляции высоковольтных вводов и трансформаторов токов под рабочим напряжением [Электронный ресурс] // Поляков В.С. – Санкт-Петербург. – Режим доступа: <http://ird.vstu.edu.ru/stati.html>.
8. Патент України №56978. Спосіб контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу вводів силових трансформаторів та вимірювальних трансформаторів струму під робочою напругою / Загайнова О.А., Богатирьов І.М., Мінченко А.А. // Опубл. 2011, бюл. №3.
9. Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин: [Учеб. пособие для втузов] / Атамалян Э.Г. – М.: Дрофа, 2005. – 415 с.

Надійшла до редколегії 24.03.2011

Рецензент: М.В.Гребченко

А.А. ЗАГАЙНОВА

Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»

**Усовершенствование методики контроля диэлектрических характеристик внутренней изоляции конденсаторного типа высоковольтного оборудования под рабочим напряжением.** Предложены метод и устройство для непрерывного контроля диэлектрических характеристик внутренней изоляции конденсаторного типа высоковольтных вводов силовых трансформаторов и измерительных трансформаторов тока под рабочим напряжением.

**Изоляция, трансформатор, высоковольтный ввод, диагностика, устройство контроля, высоковольтное оборудование**

A. ZAGAYNOVA

National Technical University  
«Kharkiv Politechnical Institute»

**Improving Methods of Control of Dielectric Characteristics of Internal Isolation Condenser Type High-Voltage Equipment under Operating Voltage.** The method and device for continuous monitoring of dielectric properties of the inner isolation condenser type high-voltage bushings of power transformers and instrument current transformers under operating voltage.  
**Insulation, transformer, high-voltage bushing, diagnosis, monitoring devices, high-voltage equipment**