

(генерируемая) же РМ будет определяться необходимостью компенсации РМ конкретной нагрузки объекта электроснабжения.

**Выводы:** 1. Чем больше номинальная мощность и скорость вращения СД, тем ниже дополнительные удельные потери, при этом у двигателей мощностью 10000 и 12000 кВт величина удельных потерь приближается к уровню конденсаторных установок, поэтому использование СД серии СТД в качестве КРМ имеет приоритет.

2. В отличие от конденсаторных установок при снижении напряжения питания располагаемая реактивная мощность СД увеличивается при практически пропорциональном увеличении дополнительных удельных потерь активной мощности в СД.

3. Двигатели на напряжение 380 В в силу высокого уровня дополнительных активных потерь не привлекательны для целей компенсации реактивной мощности. Их выгоднее использовать в режиме с  $\cos\varphi=1$ , при котором потери в них минимальны.

**Список литературы:** 1. Карпов Ф. Ф. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях / Ф. Ф. Карпов. – М. : Энергия, 1975. 2. Петелин Д.П. Автоматическое управление синхронными электроприводами / Д.П. Петелин. – М. : Энергия, 1968 г. 3. Ипатенко Н. Р. Автоматическое регулирование возбуждения синхронных двигателей средней мощности на постоянство  $\cos\varphi=1$  / Н. Р. Ипатенко. Брянск, 1974. 4. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. Том I. Электроснабжение / под ред. А. А. Фёдорова. – М. : Энергоатомиздат, 1986. 5. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчётов – М. : ЭНАС, 2009. – 456 с.: ил. 6. Абрамович Б. Н., Круглый А. А. Возбуждение, регулирование и устойчивость синхронных двигателей / Б. Н. Абрамович, А. А. Круглый. – Л. : Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1983. – 128 с. 7. Чиликин М. Г. Синхронные приводы / М. Г. Чиликин. – М. : Энергия, 1967. – 80 с.

Поступила в редколлегию 30.05.2011

УДК 621.314

О.А. ЗАГАЙНОВА, ассистент, НТУ «ХП»

## АНАЛІЗ ПОГРІШНОСТІ ПРИСТРОЮ БЕЗПЕРЕРВНОГО КОНТРОЛЮ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ІЗОЛЯЦІЇ КОНДЕНСАТОРНОГО ТИПУ У МАСЛОНАПОВНЕНОМУ ВИСОКОВОЛЬТНОМУ УСТАТКУВАННІ

У статті проведено аналіз погрішності пристрою безперервного контролю електричних параметрів ізоляції конденсаторного типу маслонаповненого високовольтного устаткування по напрузі і куту залежно від навантаження вторинних ланцюгів трансформаторів напруги для ряду типових схем розподільних пристроїв підстанцій.

В статті проаналізована погрешность устройства непрерывного контроля электрических параметров изоляции конденсаторного типа маслонаполненного высоковольтного оборудования по напряжению и углу в зависимости от нагрузки вторичных цепей трансформаторов напряжения для ряда типовых схем распределительных устройств подстанций.

In the article the error of device of continuous control of electric parameters of isolation of condenser type of the oil-immersed high-voltage equipment is analysed from an error on tension and corner of measurements transformers of tension of substation depending on loading of the second chains of transformers of tension for the row of model charts of distributive devices of substations.

**Постановка проблеми.** Основою підвищення ефективності, надійності високовольтного маслонаповненого устаткування є вдосконалення методів неруйнівного контролю і діагностики.

Підвищення достовірності контролю і діагностики високовольтного маслонаповненого устаткування – це комплексне наукове завдання, вирішення якого залежить у тому числі і від підвищення точності перетворень первинної інформації.

Контроль характеризується достовірністю, яка кількісно оцінюється вірогідністю того, що результат контролю відповідає дійсному стану об'єкту контролю (високовольтних вводів та трансформаторів струму) [1-3]. Основною причиною зниження достовірності може бути наявність погрішностей виміру контрольованого параметра.

Основними джерелами погрішностей про параметр контролю високовольтних вводів та трансформаторів струму ( $\text{tg}$ , ємність і т. д.), що містяться в результатах вимірів контрольованих величин за допомогою пристроїв безперервного контролю об'єктів під робочою напругою є наступні:

– погрішності технічних вимірів в ході контролю (квантування за розміром безперервної вимірюваної величини, представлення інформації середніми значеннями сигналів, що дискретизують, кусочно-лінійною апроксимацією при відновленні сигналів, визначення робочої фазної

напруги об'єкту з використанням параметрів трансформаторів напруги апаратної частини пристрою і вимірювальних трансформаторів напруги ПС) [4];

– погрішність формалізованого опису об'єкту контролю (високовольтних вводів та трансформаторів струму), особливо з врахуванням впливаючих електроустановок [5];

– обмеження на збір первинної вимірювальної інформації на етапі навчання системи контролю і діагностики [6];

– нестаціонарна контрольованих величин в часі [7].

В [8] наведен 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 [9], 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, або відніманням від результатів вимірів відповідної поправки.

**Мета, задачі дослідження.** Проаналізувати погрішність пристрою безперервного контролю електричних параметрів ізоляції конденсаторного типу маслонаповненого високовольтного устаткування по напрузі і куту трансформаторів апаратної частини пристрою і вимірювальних трансформаторів напруги підстанції залежно від навантаження вторинних ланцюгів трансформаторів напруги для ряду типових схем розподільних пристроїв підстанцій.

**Основний матеріал досліджень.** На рис. зображена спрощена структурна схема програмної реалізації способу контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу вводів силових трансформаторів і вимірювальних трансформаторів струму під робочою напругою. 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 куту, 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.

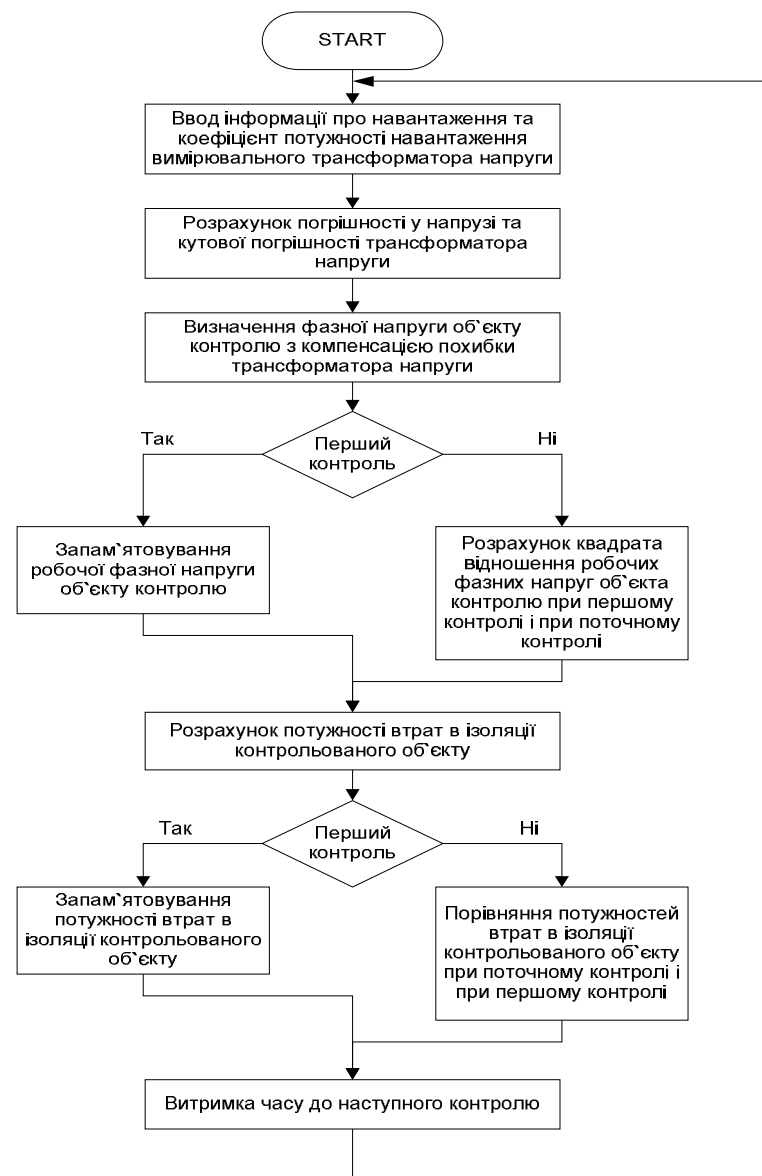


Рис. - Алгоритм контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу вводів силових трансформаторів та вимірювальних трансформаторів струму під робочою напругою

Згідно [8], при контролі під робочою напругою методи, що використовують зміну у часі діелектричних втрат, найбільш ефективні при дефектах в твердій ізоляції, що знаходяться в ізоляційному остові виробу.

Окрім того, компенсація погрішності в напрузі і кутової вимірювального трансформатора напруги дозволяє забезпечити реєстрацію дефекту, що розвивається, в ізоляції конденсаторного типу. Граничні значення параметрів при безперервному контролі [8] наступні:

клас напруги, кВ	$\Delta \text{tg} \delta$ та $\Delta Y / Y_0$ , %
110-220	3,0,
330-500	2,0,
750	1,5.

При цьому признаку дефекту, що розвивається, відповідає, згідно [8], значення  $\Delta \text{tg} \delta$  ( $|\Delta Y / Y_0|$ ) > 0,5%.

Проаналізуємо можливість реєстрації дефекту з використанням запропонованого способу контролю на прикладі контролю ізоляції вводів 330 кВ автотрансформатора ПС «Артема-330кВ».

Так для вводів 330 кВ з параметрами  $C = 627$  пФ та  $\text{tg} \delta = 0,57$  при  $U_{\text{роб}} = 339,15 / \sqrt{3}$  кВ маємо струм витоку  $I = 38,599 / 89,67^0$  мА та його активну складову  $I_A = 0,22$  мА.

Потужність втрат відповідно складає  $P = 43,13$  Вт. Признаку дефекту, що розвивається, за умови  $\Delta \text{tg} > 0,5$  % та при незмінності напруги об'єкта контролю  $U_{\text{роб}} = \text{const}$  відповідає зміна потужності втрат  $\Delta P = 0,22$  Вт, граничному значенню  $\Delta \text{tg} \delta = 2\%$  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  $S_{\text{вим}}$  результату опосередкованого вимірювання потужності втрат.

Скориставшись наведеними в роботі [9] 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  $S_U = 369,228$  В та  $S_I = 0,028 \cdot 10^{-3}$  А і оцінивши  $S_{I_A}$  по  $S_I$  як  $S_{I_A} = S_I \cdot I_A / |I| = 0,16 \cdot 10^{-6}$  А, отримуємо оцінку  $S_{\text{вим}}$ :

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

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

$P = 43,13 \pm 3S_{\text{вим}} = 42,87 \dots 43,39$  Вт, і при цьому є можливість реєстрації дефекту при  $\Delta \text{tg} \delta = 2\%$ , коли зміна потужності втрат складе:

$$P = 43,7 \dots 44,25 \text{ Вт.}$$

Звичайно, компенсація погрішності в напрузі і кутової вимірювального трансформатора напруги приведе до зменшення значення  $S_U$ .

**Висновки.** Таким чином, 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.

Погрішність в напрузі і кутова вимірювального трансформатора напруги залежить від його навантаження і коефіцієнта потужності навантаження, які можуть змінюватись в залежності від поточної схеми електроустановки (нормальна, ремонтні); крім того, навантаження й коефіцієнт потужності навантаження різняться залежно від типових схем розподільчої установки. Компенсація погрішності вимірювального трансформатора напруги з урахуванням означеного вище дозволяє удосконалити діагностику.

**Список літератури:** 1. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення: ДСТУ 2389-94. – [Чинний від 1995-01-01]. - К.: Держстандарт України 1994. - 24 с. – (Національний стандарт України). 2. Контроль неруйнівний. Терміни та визначення: ДСТУ 2865-94. – [Чинний від 1996-01-01]. - К.: Держстандарт України 1995. - 52 с. – (Національний стандарт України). 3. Володарський С.Т. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: навч. посіб. / С.Т. Володарський, Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б.. – Вінниця: Велес, 2001. – 219 с. 4. Клюев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / В.В.Клюев, Соснин Ф.Р., Филинов В.Н. и др.; под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2003. – 656 с. 5. Минченко А.А. Совершенствование диагностики высоковольтной изоляции конденсаторного типа на основе учета пространственно распределенных емкостных токов: дис. канд. техн. наук, Харьков, 2006. -277 с. 6. Штефан Н.В. Методи та алгоритми ефективної обробки результатів вимірювального експерименту: дис. канд. техн. наук: 05.11.15 / Наталя Володимирівна Штефан – Х., 2004. – 161 с. 7. Нечипорук В.В. Метод підвищення точності систем діагностики технічного обладнання на основі стаціонаризації вимірювальної інформації: дис. канд. тех. наук: 05. 11. 16 / Віталій Володимирович Нечипорук – К., 2007. – 115 с. 8. Сви П.М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения / П.М Сви. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 239 с. 9. Пат. 56978 Україна, МПК G01R 31/08. Спосіб контролю діелектричних характеристик внутрішньої ізоляції конденсаторного типу вводів силових трансформаторів та вимірювальних трансформаторів струму під робочою напругою / Загайнова О.А., Богатирьов І.М., Минченко А.А., заявник та патентовласник НТУ «ХПИ»-№2010 04400, заявл. 15.04.2010; опубл. 10.02.2011. Бюл. №3.

Поступила в редколегію 20.10.2011