

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ВВОДА С КОМБИНИРОВАННОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Бржезицкий В.А., д.т.н., проф., Маслюченко И.Н., Троценко Е.А., Хоминич В.И., к.т.н., доц.
 Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт",
 Кафедра техники и электрофизики высоких напряжений
 Украина, 03056, Киев-56, проспект Победы 37, ФЭА НТУУ "КПИ"
 тел. (044) 241-76-35

Розглянуті особливості вводу з комбінованою ізоляцією високовольтного трансформатора напруги тороїдального типу. Описані експериментальна установка, методика виконання вимірів, а також обробка їх результатів.

Рассмотрены особенности ввода с комбинированной изоляцией высоковольтного трансформатора напряжения тороидального типа. Описаны экспериментальная установка, методика выполнения измерений, а также обработка их результатов.

Необходимость развития энергосбережения, контроля качества электрической энергии обуславливают необходимость повышения точности измерения напряжения в высоковольтных электрических сетях. В большинстве случаев такие измерения практически проводятся с помощью трансформаторов напряжения типов: НКФ, НДЕ, которые на период поверки не могут быть демонтированы и переданы в действующие центры метрологии и стандартизации. В связи с этим возникает потребность в создании новых типов мобильных высоковольтных трансформаторов напряжения с минимальными массогабаритными показателями и с высокими метрологическими характеристиками.

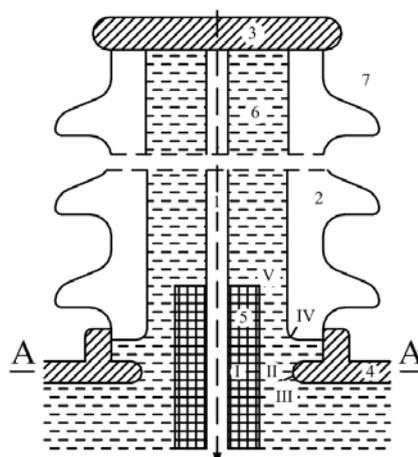
Одним из путей решения этой проблемы есть переход к конструкции высоковольтных трансформаторов напряжения тороидального типа. В свое время такой переход позволил резко улучшить характеристики высоковольтных трансформаторов тока. Переход к тороидальным высоковольтным трансформаторам напряжения требует разработки тороидальных обмоток с десятками тысяч витков на соответствующих сердечниках, обеспечения электрической прочности характерных участков высоковольтной изоляции и решения других задач.

Анализ возможных конструкций высоковольтной изоляции тороидальных трансформаторов напряжения позволяет выделить ее характерные области: зона непрерывной обмотки; край обмотки; зона ее высоковольтного вывода; высоковольтный ввод.

Одним из наиболее напряженных мест высоковольтного тороидального трансформатора напряжения является втулка его ввода, конструкция которого представлена (схематически) на рис. 1.

Наиболее напряженными в конструкции на рис. 1 являются: I - область твердого диэлектрика в сечении А-А; II, III - область трансформаторного масла в этом же сечении А-А; IV - область закругления нижней части фарфоровой покрывки; V - торцевая часть твердого диэлектрика 5.

Для теоретического исследования электрической прочности конструкции ввода важно знать нормальные (радиальные) составляющие напряженности электрического поля в областях I – II и составляющие, направленные по касательной к поверхности твердого



к высоковольтной обмотке трансформатора

Рис. 1. Конструкция ввода высоковольтного трансформатора напряжения:

- 1 - металлический цилиндрический стержень ввода;
- 2 - фарфоровая покрывка; 3 - высоковольтный электрод;
- 4 - металлическая крышка бака трансформатора;
- 5 - твердый диэлектрик; 6 - трансформаторное масло;
- 7 - окружающая среда (воздух)

диэлектрика в областях IV – V, при действии максимального рабочего и испытательного напряжений.

Для экспериментального исследования электрической прочности ввода изготовлена его модель в натурном исполнении, конструкция которой представлена на рис. 2, где дополнительно к указанным на рис. 1 элементам вносятся: противокоронный экран 8 и бак испытательной камеры 9.

Натурная модель ввода при подготовке к экспериментальным исследованиям проходит такой же технологический процесс изготовления, как и реальный трансформатор напряжения. При этом производится сушка под вакуумом при повышенных температурах, вакуумирование и сушка масла, заливка под вакуумом. Для каждого испытания изготовление изоляции и технологический процесс ее подготовки повторяется заново.

Испытания образцов модели проводятся приложенным напряжением частоты 50 Гц по схеме, представленной на рис. 3, методом непрерывно нарастающего напряжения (100% разряда) [1].

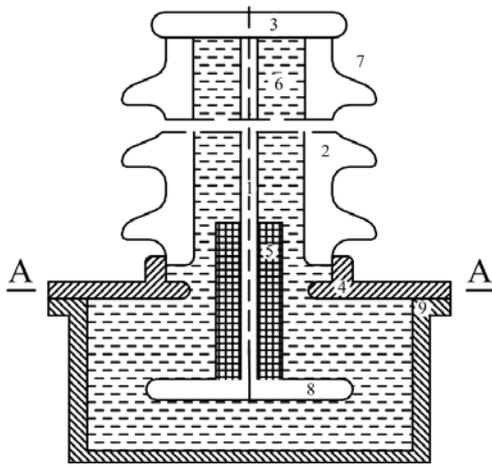


Рис. 2. Конструкция модели ввода для испытаний

При испытании методом 100% разряда результаты испытаний выбирают из серии $N = 5$ значений разрядных напряжений U_i . Из этих значений определяют $\overline{U_{cp}}$ и оценочное значение стандартного отклонения z по формулам [1]:

$$\overline{U_{cp}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_i; \quad (1)$$

$$z = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (U_i - \overline{U_{cp}})^2}. \quad (2)$$

По полученным значениям $\overline{U_{cp}}$ и z определяют среднее разрядное напряжение U_{cp} и абсолютное значение стандартного отклонения σ_a по выражениям:

$$\overline{U_{cp}} - \frac{z \cdot t_p}{\sqrt{N}} \leq U_{cp} \leq \overline{U_{cp}} + \frac{z \cdot t_p}{\sqrt{N}}; \quad (3)$$

$$z \sqrt{\frac{N-1}{x_{p/2}^2}} \leq \sigma_a \leq z \sqrt{\frac{N-1}{x_{(1-p/2)}^2}}, \quad (4)$$

где t_p , $x_{p/2}^2$, $x_{(1-p/2)}^2$ - функции числа разрядов N и доверительной вероятности; при доверительной вероятности 95% и $N = 5$ из [1] следует:

$$\frac{t_p}{\sqrt{N}} = 1,24; \quad \sqrt{\frac{N-1}{x_{p/2}^2}} = 0,60; \quad \sqrt{\frac{N-1}{x_{(1-p/2)}^2}} = 2,87.$$

По полученным значениям $\overline{U_{cp}}$ и σ_a определяют U_{cp}' и σ_a' :

$$U_{cp}' = \overline{U_{cp}} - \Delta \overline{U}; \quad (5)$$

$$\sigma_a' = z \sqrt{\frac{N-1}{x_{(1-p/2)}^2}}, \quad (6)$$

где $\Delta \overline{U} = \Delta \overline{U}(z)$ [1].

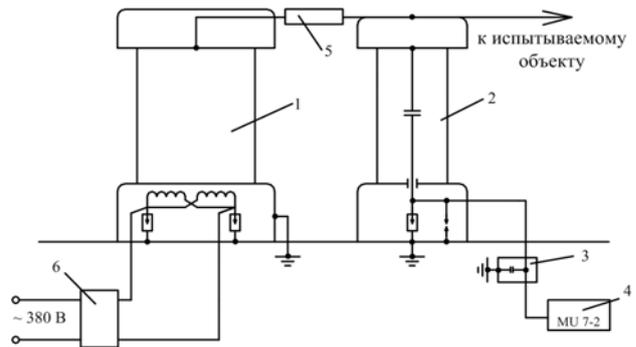


Рис. 3. Схема для испытаний приложенным напряжением частоты 50 Гц:

1 - трансформатор фирмы TUR на напряжение 350 кВ; 2 - конденсатор MCF 75/350 P; 3 - низковольтное плечо емкостного делителя напряжения; 4 - измерительный блок MU 7-2; 5 - токоограничительное сопротивление; 6 - регулятор напряжения

Затем полученные значения U_{cp}' и $\sigma_a' = \sigma_a / U_{cp}$ подставляют в формулу для определения выдерживаемого напряжения $U_{в.о}$ объекта:

$$U_{в.о} = U_{cp}' (1 - n\sigma'), \quad (7)$$

где n - коэффициент, определяемый заданной (нормированной) вероятностью выдерживания, которая при нормированной вероятности выдерживания 90% [1] составляет $n = 1,3$; σ' - наибольшее значение в относительных единицах стандартного отклонения в доверительном интервале.

Результаты испытаний электрической прочности высоковольтного ввода определенные по данной методике для различных геометрических размеров его элементов сопоставляются с данными оптимизации конструкции, полученными на основании расчетов картины поля.

ЛИТЕРАТУРА

[1] ГОСТ 1516.2 - 97 "Электрооборудование и электроустановка переменного тока на напряжение 3 кВ и выше".

Поступила 20.10.2006