

Д. А СЕМЕНОВ.

МОНИТОРИНГ ИЗОЛЯЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Ключевые слова: диагностики высоковольтной изоляции, заряд абсорбции, напряжение саморазряда, возвратное напряжение постоянные времени саморазряда, износ изоляции.

Аннотация. Предложен метод для диагностики состояния корпусной изоляции распределительных трансформаторов по напряжению саморазряда и возвратному напряжению. Приведены результаты испытаний с помощью данного метода эксплуатируемых трансформаторов.

Для надежного электроснабжения в сельских сетях необходимо поддерживать в работоспособном состоянии распределительные трансформаторы. Поэтому на современном этапе эксплуатации энергетических систем нужен периодический контроль и диагностика с целью прогнозирования расходования ресурса электрооборудования для обоснования выбора очередности замены обследуемого оборудования.

В настоящее время в эксплуатации находится большое количество силовых трансформаторов – более 70 %, отработавших свой срок службы. В соответствии с ГОСТ

11677-85 «Трансформаторы силовые. Общие технические условия» этот срок составляет 25 лет.

Опыт эксплуатации силовых трансформаторов показывает, что и после нормативного срока службы значительная часть трансформаторов сохраняет свою способность при соблюдении допустимых нагрузочных режимов, своевременном проведении ремонтов и качественном их выполнении.

В России в ближайшие годы по экономическим и техническим причинам не ожидается существенного обновления парка силовых трансформаторов, отработавших свой нормативный срок. В связи с этим все более актуальной становится проблема продления срока службы и оценка возможности дальнейшей эксплуатации такого электрооборудования в системах электроснабжения, чего можно достичь с помощью диагностирования.

Принято считать, что надежность силовых и распределительных трансформаторов уменьшается по мере старения их изоляции. Это старение происходит главным образом из-за ухудшения характеристик изоляционных материалов. Ухудшение изоляции трансформатора в первую очередь зависит от температуры и времени, а также зависит от таких факторов, как влажность и содержание кислорода. Поэтому большинство методов профилактического обслуживания трансформаторов ориентированы на мониторинг этих факторов.

Для своевременной диагностики и повышения эксплуатационной надежности трансформаторов наиболее предпочтительным является применение неразрушающих методов испытаний и диагностики корпусной изоляции. Такие методы, основанные на периодическом измерении наиболее информативных характеристик изоляции, не только позволяют получать информацию о состоянии корпусной изоляции трансформаторов, но и могут быть ис-

пользованы для прогнозирования остаточного срока службы длительно эксплуатирующихся трансформаторов. На основе этой информации может быть составлен план профилактического контроля трансформаторов в условиях эксплуатации и выработана стратегия их замены с опасными дефектами или выработанным ресурсом изоляции. Одним из таких методов является измерение и анализ напряжения саморазряда и возвратного напряжения в главной изоляции трансформаторов.

Исследования в этом направлении с измерением абсорбционных параметров проводятся кафедрой «Электрификация и автоматизация» НГИЭИ на распределительных трансформаторах мощностью 40-400 кВ·А районных электрических сетей Княгининского района. Ранее в статье [3] было установлено, что измерения напряжения саморазряда и возвратного напряжения выявляют процессы старения изоляции намного чувствительнее, чем традиционное измерение коэффициента абсорбции.

Метод напряжения саморазряда заключается в подсоединение главной изоляции к источнику напряжения, чтобы зарядить ее в течение минуты до напряжения U_0 , а затем отключить трансформатор от источника напряжения и оставить разомкнутым. Заряженная изоляция будет постепенно разряжаться на свое собственное сопротивление R . При этом напряжение u_C , называемое напряжением саморазряда будет изменяться по закону затухающей экспоненты $u_C = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$.

Опыт, в котором наблюдается возвратное напряжение, состоит в следующем. Неоднородная изоляция заряжается в течение одной минуты при постоянном напряжении, чтобы в ней накопился заряд абсорбции. Затем изоляция отключается от источника постоянного напряжения и ее электроды замыкаются переключателем накоротко на

очень малый промежуток времени Δt , после чего вновь размыкаются. За время Δt геометрическая емкость полностью разряжается, а заряд абсорбции, накопленный на границе слоев, остается практически неизменным. Этот заряд распределится на обе емкости и зарядит их до одинакового напряжения U_{0B} .

Для измерения данным методом было разработано устройство, защищенное авторским свидетельством. Устройство снабжено программируемым микроконтроллером и позволяет измерять параметры изоляции в течение одной минуты через каждую секунду. Более подробное описание устройства дано в статье Семенова Д. А. «Устройство с микропроцессорным управлением для диагностики изоляции электрооборудования».

Анализируя состояние изоляции трансформаторов в процессе эксплуатации, приведем параметры трех разных трансформаторов мощностью 100 кВ·А в д. Урга Княгининского района, которые были замерены в период 2010-2012 гг.

На рис. 1 показаны зависимости напряжения саморазряда и возвратного напряжения за время эксплуатации с 2011 по 2012 год КТП-51 с трансформатором ТП 100/10 1986 года выпуска при заряде изоляции на 2500 В.

Из рис. 1 видно, что в течение срока эксплуатации изоляция стареет и напряжение саморазряда и возвратное напряжение снижаются (напряжение саморазряда u_{c15} снизилось примерно на 93 В за год, а возвратное напряжение u_{630} – примерно на 8 В за год). Также изменяется и момент времени, при котором наблюдается максимум возвратного напряжения. У данного трансформатора произошло резкое снижение параметров, а значит и ухудшение состояния изоляции из-за работы его на коротком замыкании.

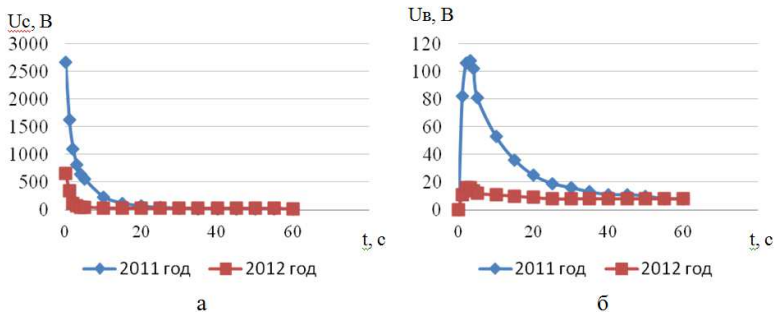


Рисунок 1 – Кривые напряжения саморазряда (а) и возвратного (б) за время эксплуатации с 2011 по 2012 год КТП-51

Такая же тенденция наблюдается и у двух других трансформаторов, расположенных в деревне Урга Княгининского района, изображенных на рис. 2 и 3. На рис. 2 показаны зависимости напряжения саморазряда и возвратного по времени эксплуатации в 2010 и 2012 годах КТП-52 с трансформатором ТП 100/10 1994 года выпуска при заряде изоляции на 2500 В.

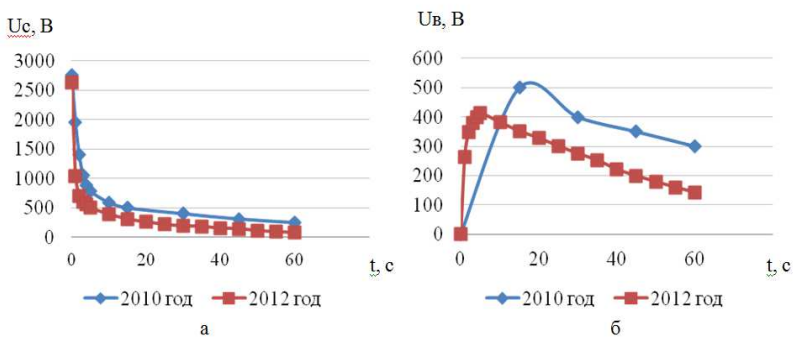


Рисунок 2 – Изменение кривых напряжения саморазряда (а) и возвратного (б) КТП-52 в 2010 и 2012 гг

Из рис. 2 так же отчетливо видно, что в течение срока эксплуатации напряжение саморазряда и возвратное

напряжение снижаются (напряжение саморазряда u_{c15} снизилось примерно на 191 В за 2 года, а возвратное напряжение u_{630} - примерно на 125 В за 2 года), и происходит изменение момента времени, при котором наблюдается максимум возвратного напряжения. В 2010 максимум был достигнут при 17 сек., а в 2012 – при 5 сек.

На рис. 3 показаны зависимости напряжения саморазряда и возвратного за время эксплуатации с 2010 по 2011 год КТП-147 с трансформатором ТП 100/10 1986 года выпуска при заряде изоляции на 2500 В.

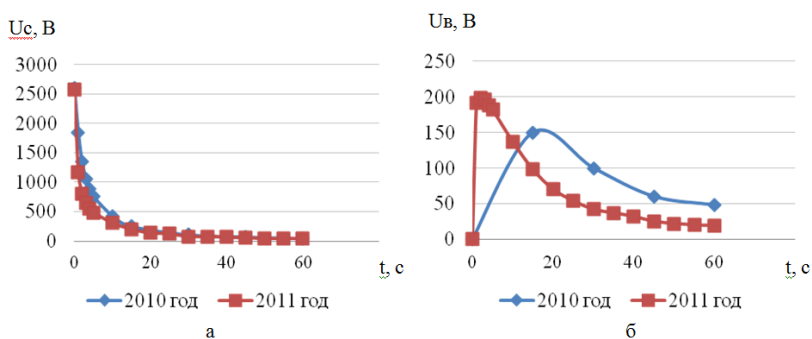


Рисунок 3 – Кривые напряжения саморазряда (а) и возвратного (б) за время эксплуатации с 2010 по 2011 год КТП-147

Из рис. 3 видно, что в течение срока эксплуатации изоляция стареет и напряжение саморазряда и возвратное напряжение снижаются (напряжение саморазряда u_{c15} снизилось примерно на 51 В за год, а возвратное напряжение u_{630} – примерно на 58 В за год). Также изменяется и момент времени, при котором наблюдается максимум возвратного напряжения, так в 2010 году максимум составил на 17 сек., а в 2011г – на 2 сек.

По приведенным кривым напряжений видно, что с ростом эксплуатации уменьшается напряжение саморазря-

да и возвратное напряжение у трех трансформаторов, поэтому можно сделать вывод, что эти параметры могут непосредственно характеризовать состояние изоляции.

Результаты исследования с разными сроками эксплуатации рис. 1, 2, 3 показали, что наиболее чувствительной к старению изоляции является начальная крутизна возвратного напряжения (скорость его нарастания). По данной величине возвратного напряжения можно судить о состоянии изоляции. Чем ниже скорость нарастания, тем лучше состояние изоляции.

Так же о состоянии изоляции можно судить по отношению параметров кривой замеренной при заряде 2,5 кВ, к параметрам кривой при заряде 1 кВ, что видно из рис. 4 и 5 [1].

На рис. 4 и 5 показаны результаты измерений трансформаторов на КТП-147 при 1кВ и 2,5кВ по времени эксплуатации с 2010 по 2011гг.

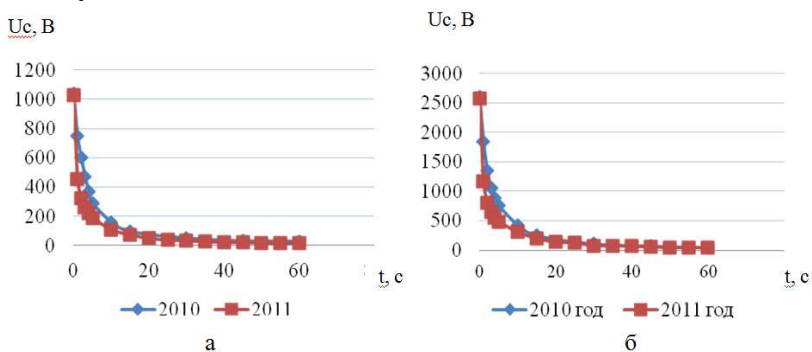


Рисунок 4 – Кривые напряжения саморазряда при заряде 1кВ (а) и 2,5кВ (б) за время эксплуатации с 2010 по 2011 год КТП-147

Из рис. 4 видно, что спустя один год эксплуатации трансформатора его параметры изоляции снизились, а именно уменьшилось напряжение саморазряда. Это озна-

чает, что о состоянии изоляции можно судить по абсорбционному параметру – напряжению саморазряда.

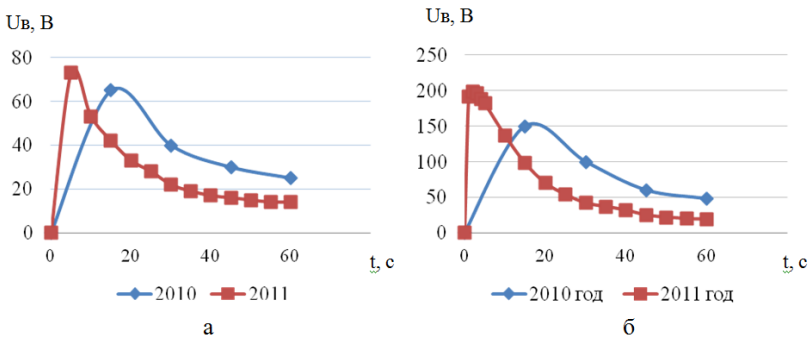


Рисунок 5 – Кривые возвратного напряжения при заряде 1кВ (а) и 2,5кВ (б) за время эксплуатации с 2010 по 2011 год КТП-147

С течением времени эксплуатации трансформатора происходит разложение целлюлозы с одновременным увеличением количества воды в изоляции. И в качестве критерия физической оценки бумажно-масляной изоляции можно использовать P - фактор, который в процессе старения увеличивается [4]. Он по определению не имеет никакой зависимости от геометрических параметров проверяемого объекта и рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{U_{B \max}}{S \cdot t_{\max}},$$

где $U_{B \max}$, В – максимальное значение возвратного напряжения;

$$S = \frac{U_{B \max}}{t_s}, \text{ В/с} \quad \text{– крутизна роста напряжения;}$$

t_{\max} , с – время точки максимума;

t_s , с – время крутизны роста напряжения.

По данной формуле для трансформатора на КТП-147, измеренного в 2011 году определим увлажнение его изоляции по рис. 6.

Из рис. 6 определим при заряде в 2,5 кВ

$$S = \frac{199}{1,2} = 165,8 \text{ В/с}$$

и рассчитаем P – фактор

$$P = \frac{199}{165,8 \cdot 2} = 0,6$$

P – фактор составил больше 0,2, поэтому можно сказать по данным работы [4], что изоляция является увлажненной.

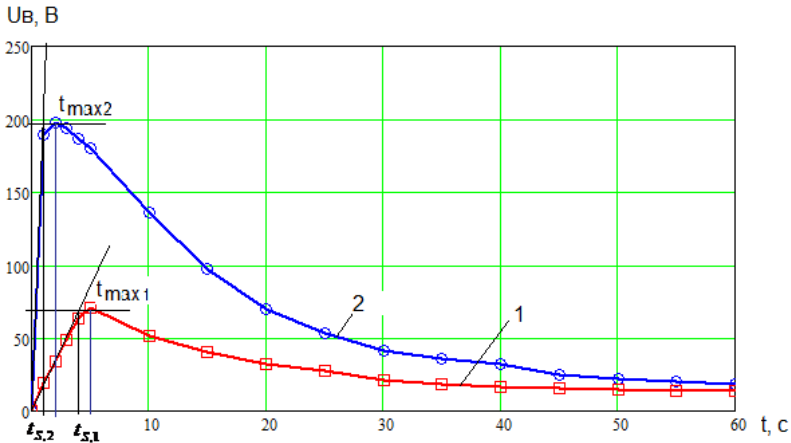


Рисунок 6 – Кривые возвратного напряжения для трансформатора на КТП-147, полученные при заряде изоляции: 1 – 1000 В; 2 – 2500В

Дальнейшие измерения и анализ напряжения саморазряда и возвратного напряжения с целью установления корреляционной связи между степенью старения (остаточным ресурсом) и измеряемыми параметрами изоляции может позволить перейти к получению количественных оце-

нок остаточного ресурса изоляции трансформаторов по результатам измерения в условиях эксплуатации напряжения саморазряда и возвратного напряжения.

Внедрение неразрушающих методов диагностики силовых трансформаторов с использованием современного оборудования будет способствовать повышению надежности электроснабжения потребителей, а также позволит эффективнее планировать ремонт и замену трансформаторов по их фактическому техническому состоянию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Канискин В. А., Коцур С. А., Привалов И. Н. Кабели 10 кВ с бумажно-пропитанной изоляцией. Неразрушающий метод диагностики / Новости электротехники. 2005. № 5 (35).

2. Серебряков А. С. Электротехническое материаловедение. Электроизоляционные материалы: Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта. – М.: Маршрут, 2005. 280 с.

3. Семенов Д. А. Измерение абсорбционных параметров силовых трансформаторов. Материалы международной научно – практической конференции, посвященной 70-летию со дня рождения д.т.н. А. С. Серебрякова. – г. Княгинино: НГИЭИ, 2009. 216 с.

4. Patsch, R.; Kouzmine, O.; P-factor, A meaningful Parameter for the evaluation of return voltage measurements, CEIDP Cancun, Mexico. 2002.

MONITORING OF ISOLATION OF TRANSFORMATORS IN THE RPROCESS OF EXPLOITATION

***Keywords:** diagnostics of high-voltage isolation, a charge of absorption, a pressure of the self-category, a returnable pressure constants of time of the self-category, wear of isolation.*

***The summary.** The method for diagnostics of a condition of case isolation of distributive transformers on a pressure of the self-category and a returnable pressure is offered. Results of tests by means of the given method of maintained transformers are resulted.*

СЕМЕНОВ ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ – преподаватель кафедры «Электрификация и автоматизация», Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (xxxmy@mail.ru).

SEMENOV DMITRII ALEXANDROVICH – the teacher of the chair electrification and automatization, the Nizhniy Novgorod state engineering-economic institute, Russia, Knyaginino, (xxxmy@mail.ru).
