

Андриенко П. Д.¹, Сахно А. А.², Конограй С. П.³, Спица А. Г.⁴, Скрупская Л. С.⁵

¹Д-р техн. наук, профессор, Запорожский национальный технический университет, Украина

²Канд. техн. наук, старший преподаватель, Запорожский национальный технический университет, Украина

³Аспирант, Запорожский национальный технический университет, Украина

⁴Аспирант, Запорожский национальный технический университет, Украина

⁵Старший преподаватель, Запорожский национальный технический университет, Украина, E-mail: 88sts88@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОСНОВНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВВОДОВ И ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

В статье представлен анализ особенностей мониторинга технического состояния основной изоляции трансформаторов тока и вводов с точки зрения выбора диагностических параметров, описаны результаты измерения характеристик частичных разрядов в изоляции трансформаторов тока и вводов различными приборами и сделаны выводы по целесообразности контроля этих параметров, а также предложен подход к измерению характеристик частичных разрядов в изоляции при эксплуатации вводов и трансформаторов тока, предложен подход к использованию полученных значений диагностических параметров для оценки остаточного ресурса высоковольтных трансформатора тока и вводов.

Ключевые слова: мониторинг, ввод, трансформатор, основная изоляция, диагностирование.

ВВЕДЕНИЕ

Старение парка электрооборудования, тенденции к уменьшению эксплуатационных затрат, а также повышающиеся требования к надежности электроснабжения потребителей требуют реорганизации подхода к эксплуатационным испытаниям и диагностике технического состояния высоковольтного электрооборудования электрических станций, подстанций и сетей, а также трансформаторного оборудования энергоёмких производств.

Действующий на данный момент в Украине подход к диагностике и техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) высоковольтных электрических машин и аппаратов сводится к следующей схеме:

- измерение диагностического критерия (одного или нескольких);
- проверка на соответствие критерия граничным значениям, указанным в нормах, или для ненормируемых критериев – на соответствие опыту диагноста;
- выдача экспертного заключения на основании опыта или требований норм о необходимости вывода оборудования или продолжения его эксплуатации.

Системы ТОиР и межремонтной диагностики у нас в стране – «периодические» и регламентируются нормами [1]. Большинство измерений проводится с выводом оборудования из работы. Очевидно, что такая система диагностики не отвечает современным требованиям.

Непрерывный эксплуатационный контроль (мониторинг) технического состояния высоковольтного электрооборудования является оптимальным решением задачи реорганизации эксплуатационной диагностики. Автоматизированный непрерывный контроль имеет ряд преимуществ перед периодическим, такие как: сокращение межконтрольного периода, отсутствие человеческого фактора, учет влияния эксплуатационных факторов, накопление диагностической информации, удаленное предостав-

ление информации разного уровня и др. Внедрение автоматизированного мониторинга позволит планировать ремонты оборудования и при необходимости производить срочное отключение оборудования, находящееся в предаварийном состоянии, а также осуществить переход от устаревшей системы периодического обслуживания к обслуживанию по реальному техническому состоянию объекта. Однако системы непрерывного контроля нуждаются в специфических методиках, алгоритмах и моделях, необходимых для эффективного их функционирования.

В данной статье представлен анализ особенностей непрерывного контроля основной изоляции вводов и измерительных трансформаторов тока с точки зрения выбора диагностических параметров и их применения для прогноза остаточного ресурса оборудования.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа по установлению степени связи значений диагностических параметров изоляции с показателями ее надежности началась в конце 70-х годов прошлого столетия, однако полноценный анализ и оценка эффективности диагностических параметров для мониторинга мало исследовались. В статье будут рассматриваться только приведенные ниже диагностические параметры, которые возможно автоматизировано измерять в процессе работы вводов и трансформаторов тока.

1. Значение тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta_1$) и емкости (C_1) основной изоляции. Это наиболее важные диагностические критерии, так как они напрямую связаны с основными характеристиками изоляционного материала – диэлектрическими потерями и диэлектрической проницаемостью. Диэлектрическая проницаемость определяется степенью поляризации диэлектрика. Для изоляционных конструкций принято рассмат-

ривать пропорциональную ей емкость между электродами конденсатора. При поляризации диэлектрика энергия поля затрачивается на перемещение электрических зарядов, часть этой энергии рассеивается в объеме диэлектрика. Эту часть энергии характеризует мощность диэлектрических потерь. Мощность диэлектрических потерь зависит не только от характеристик диэлектрика и частоты приложенного к нему напряжения, но и от объема изоляции. Поэтому для оценки состояния изоляции принято использовать тангенс угла диэлектрических потерь, который почти не зависит от размеров изоляционной конструкции. Величина $\operatorname{tg}\delta_1$ дает усредненную объемную характеристику состояния диэлектрика, так как активная составляющая тока, вызванная диэлектрическими потерями в местном дефекте относится к общему емкостному току объекта [2]. Именно изменение дает возможность зафиксировать дефект на ранней стадии развития и спрогнозировать отказ оборудования. Причем данный критерий является актуальным как для вводов с бумажно-масляной так и с RIP-изоляцией. В качестве примеров необходимости контроля данного параметра можно привести следующие:

1.1. Автотрансформатор типа АДЦТН-250000/220/110-У1, г. Баку, Азербайджан, повреждение ввода 110 кВ ГТП – 60-110/2000-У1 через 3,5 года эксплуатации. Результаты измерений тангенса угла ввода за 9 месяцев до аварии свидетельствовали о начале развития дефекта: тангенс угла диэлектрических потерь на поврежденном вводе был 0,71% (еще за 9 месяцев до аварии), в то время как на исправных вводах соседних фаз 0,47% и 0,48% [3]. В данном примере следует отметить, что ввод разрушился до очередного контроля, наличие системы непрерывного контроля позволило бы зафиксировать тренд в показателях данного параметра и предотвратить дефект.

1.2. Пробой части изоляции вводов 500кВ Trench с RIP-изоляцией по причине подключения прибора КИВ-500 сопровождался ростом $\operatorname{tg}\delta_1$ с 0,44% до 1,26% по одному вводу и с 0,6% по 0,96% по другому вводу [3]. Следует отметить, что дефекты данного вида могут вызывать и снижение значения $\operatorname{tg}\delta_1$ после частичного пробоя, поэтому важно анализировать не только мгновенные значения параметра, а всю историю измерений в непрерывном режиме за весь период эксплуатации.

1.3. Отложение полупроводящих коллоидных соединений на внутренней поверхности фарфоровых покрышек маслонаполненных вводов («желтый налет») по результатам [4] может быть зафиксирован измерениями под рабочим напряжением с отслеживанием температурных зависимостей, при этом значения параметра могут принимать отрицательные значения.

1.4. Отложение X-воска и развития пробоя в изоляционном остове ввода с маслом типа ГК также фиксируется контролем значения под рабочим напряжением [4].

1.5 В [5] разработана математическая модель, устанавливающая количественную связь между $\operatorname{tg}\delta_1$, температурой, электрическими воздействиями и периодом эк-

сплуатации основной изоляции аппарата. Наличие такой взаимосвязи подтверждает необходимость контроля этого параметра.

1.6 Наличие корреляционной связи между значениями $\operatorname{tg}\delta_1$ изоляции и оставшимся временем до отказа объекта выявлено для вводов и трансформаторов тока с бумажно-масляной изоляцией [2].

Также $\operatorname{tg}\delta_1$ нормируется для контроля под рабочим напряжением в стандартах [1, 6].

2. Контроль изменения емкости позволяет зафиксировать грубый дефект, такой как перекрытие части изоляции аппарата, на завершающей стадии повреждения, для немедленного аварийного его отключения. Само по себе абсолютное значение данного параметра не является признаком отказа. Признаком отказа является увеличение значения от паспортного на величину соответствующую перекрытию одной или нескольких конденсаторных обкладок в изоляции. Данный критерий применим как для бумажно-масляной так и для RIP-изоляции. Время от появления частичного пробоя до полного пробоя изоляции может быть разным, потому пробой даже одной обкладки должен служить признаком необходимости немедленного отключения оборудования. Данный параметр является аналогом параметра «проводимость» и имеет идентичный с ним диагностический смысл.

3. Важным является не только абсолютные значения $\operatorname{tg}\delta_1$, но и их изменения за различные периоды, скорость изменения, абсолютное изменение, а также среднесуточные, недельные, сезонные, годовые значения $\operatorname{tg}\delta_1$ (сутки, неделя, год представляют собой законченные периодические циклы колебания ряда эксплуатационных факторов, таких как ток нагрузки, температура окружающей среды и др.). Важно отметить, что для бездефектной изоляции $\operatorname{tg}\delta_1$ не увеличивается на протяжении всего срока его службы, т.е. начальные значения $\operatorname{tg}\delta_1$ служат основой для сравнения с полученными данными при очередных измерениях [7], при этом для бездефектной изоляции значения параметра сохраняют стабильность при изменении величины приложенного напряжения.

4. Амплитуда и фаза вектора небаланса токов комплексной проводимости изоляции 3-х фазной группы, где амплитуда количественно характеризует дефект, а фаза вектора указывает в каком из объектов он развивается. Как уже было отмечено в ряде работ, например, [8, 9] данный метод оказался малоэффективным в условиях эксплуатации.

5. Температурный коэффициент изоляции (температурная зависимость $\operatorname{tg}\delta_1$) – дополнительный диагностический параметр, увеличение которого свидетельствует о развитии дефекта в целлюлозной изоляции или ухудшении характеристик масла. Значение этого параметра позволяет сделать косвенное заключение о наличии примесей в масле, высоком влагосодержании масла, наличии источников интенсивных ЧР в основной изоляции и ее перегревах [2].

6. Интенсивность частичных разрядов – частичные разряды (ЧР) в основной изоляции во многих случаях являются первопричиной изменения $\text{tg}\delta_1$ и C_1 . Поэтому, было бы логично контролировать интенсивность, уровень и суммарную мощность частичных разрядов. Однако, использование этого параметра в условиях эксплуатации затруднено, ряд исследователей, например, [3] и производителей высоковольтного оборудования пишут о бесполезности данного параметра в условиях эксплуатации, в то же время ряд исследователей таких как П. М. Сви, В. А. Русов, В. П. Вдовико, Ю. П. Аксенов, E. Lemke, L. Renforth и др. в своих работах описывают методы диагностики на основе измерения характеристик частичных разрядов в основной изоляции. ЧР имеют, как правило, большую интенсивность поэтому создание измерительных устройств с необходимой чувствительностью не вызывает трудностей. Однако, возможность выявления дефектов изоляции, регистрацией ЧР в эксплуатации определяется не чувствительностью аппаратуры, а способностью фильтрации внешних помех, т.е. с устранением помех или снижением их уровня. Помехи при измерении ЧР могут вызываться любыми процессами в сети, связанными с резкими изменениями тока, а также источниками высокочастотных напряжений. При измерениях частичных разрядов в условиях эксплуатации источники помех, как правило, не могут быть устранены. Дополнительные помехи могут создавать радиопередатчики, ЧР в соседнем оборудовании, разряды между шинами, разряды между элементами токопроводов, разряды на заостренных краях арматуры или на концах ножей отключенных разъединителей и т. п. [2]. Основным источником неустраняемых помех при измерениях в эксплуатационных условиях являются коронные разряды на проводах, арматуре и оборудовании (так называемый основной уровень помех), которые имеют характеристики схожие с характеристиками ЧР при регистрации электрическими методами. Вибрация оборудования создает помехи при регистрации акустическими методами. Поэтому, основной проблемой при измерении в условиях эксплуатации является селекция частичных разрядов. Несмотря на большое количество работ, описывающих данные методики селекции, практические наблюдения показывают, что часто данные алгоритмы и методики в условиях высоковольтных станций и подстанций оказываются малоэффективными.

На рис. 1–3 показаны примеры регистрации уровней частичных разрядов, или более корректнее будем называть выполненные измерения – «разрядной активностью».

На рис. 1 и 2 зарегистрированная разрядная активность имеет выраженную корреляцию с температурой изоляции, что позволяет сделать предположение о связи, зарегистрированной разрядной активности, с состоянием изоляции.

На рис. 3 показан пример регистрации уровня частичных разрядов, однако, связь полученных данных с

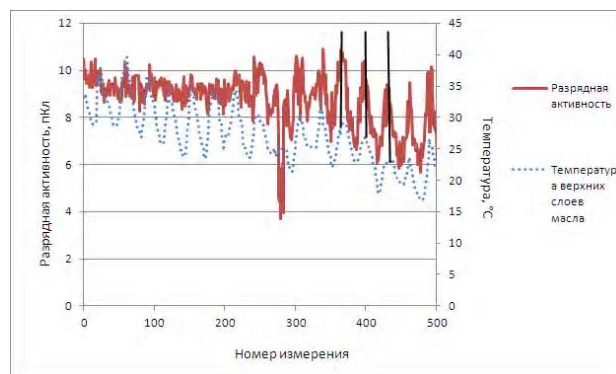


Рис. 1. Корреляция значений разрядной активности с температурой верхних слоев масла ввода СН АОДЦТН-167000/500/220, АТ-4, ф.А, ПС 500кВ «ЦГПП», Республика Казахстан за период сентябрь 2014г. (данные от системы SAFE-T, ООО «Энергоавтоматизация»)

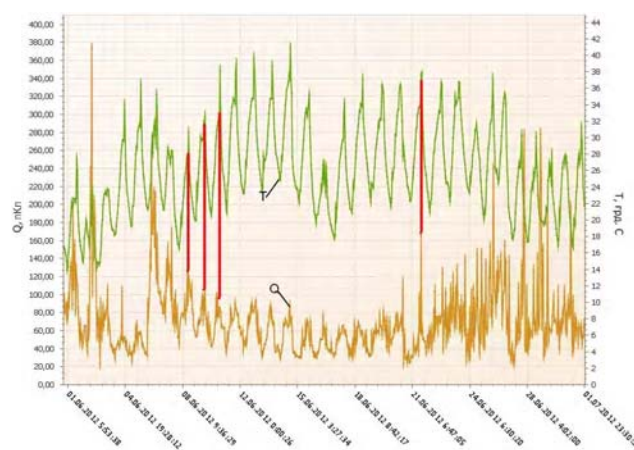


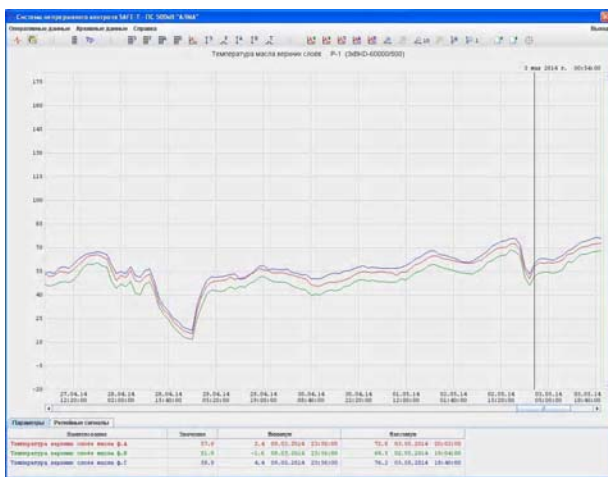
Рис. 2. Корреляция значений разрядной активности с температурой изоляции трансформатора тока (ТФКН-330, зав.№ 82ЭА, негерметичный, дата изготовления: 1962 г., дата ввода в эксплуатацию: 1971 г., ПС 330кВ «Днепр-Донбасс») (данные от системы SAFE-T, с прибором Omicron MPD600)

реальным техническим состоянием объекта контроля установить невозможно, к тому же уровень кажущегося заряда, который, как заявлено производителем прибора, измеряет прибор, не может быть в реальности (более 1000 пКл), с разрядами такого уровня ввод проработал бы не более нескольких минут.

Как показано на данных примерах к контролю частичных разрядов в эксплуатации необходимо относиться как к дополнительному методу, который в совокупности с основными может позволить повысить достоверность оценки технического состояния ввода или трансформатора тока. Также для вводов следует помнить, что нормальным уровнем частичных разрядов в основной изоляции считается 5 пКл, а для изоляции обмоток силовых трансформаторов – 300 пКл, поэтому очевидно, что выявление дефектов вводов по данному параметру весьма затруднено.



а)



б)

Рис. 3. Разрядная активность вводов и температура верхних слоев масла РОМ-60000/500, Р-1, ф.А, ф.В, ф.С, ПС 500кВ «Алма», Республика Казахстан (данные от системы SAFE-T, с прибором ООО «Димрус» TDM)

а) – разрядная активность, б) – температура верхних слоев масла

Следует отметить, что методики количественного определения величины кажущегося заряда частичных разрядов в условиях эксплуатации являются теоретически малообоснованными, а с точки зрения практики – малоисследованными. Поэтому для эксплуатационного контроля характеристик частичных разрядов в основной изоляции трансформаторов тока и вводов более корректно было бы применять термин «разрядная активность». Разрядная активность – это безразмерная величина, предполагающая условную количественную оценку изменения уровня частичных разрядов в основной изоляции, например, если уровень активности вырос с 10 до 20 единиц, то можно сделать вывод о том, что уровень кажущегося заряда частичных разрядов вырос вдвое, т.е. если система контроля вводилась на новом оборудовании, можно предположить, что уровень с нормальных

5пКл вырос до 10пКл. В виду этого авторами предлагается упрощенный подход к контролю характеристик разрядной активности в основной изоляции вводов и трансформаторов тока, основанный на спектральном анализе сигнала тока проводимости основной изоляции ввода и последующем расчете интегрального действующего значения составляющих в диапазоне 8–10 МГц, такой алгоритм внедрен в блока мониторинга SAFE-T ООО «Энергоавтоматизация» [10], пример результатов работы представлен на рис. 1. В качестве дополнительных сигналов, позволяющих локализовать место появления дефекта, можно использовать высокочастотные составляющие токов заземления нейтралей и баков трансформаторного оборудования.

Построение систем мониторинга вводов и трансформаторов тока, достаточно полно описаны в документации производителей таких систем, например, [11], однако, важной особенностью систем непрерывного контроля есть то, что система мониторинга не должна ограничиваться контролем значений критериев, а должна делать диагностическое заключение о состоянии объекта, а также давать прогноз состояния, например, на основе математических моделей, представленных авторами в [12, 13]. Указанные модели могут совершенствоваться и развиваться путем расширения количества диагностических параметров, в частности за счет ввода в модель параметра «разрядная активность», так, например, модель из [12], может принимать вид:

$$S(t, (tg\delta_1, \Delta tg\delta_1, Q, \alpha)) = S_0(t) \exp(b_1 \cdot tg\delta_1 \cdot b_2 \cdot \Delta tg\delta_1 + b_3 \cdot Q + b_4 \cdot \alpha),$$

где $S(t, (tg\delta_1, \Delta tg\delta_1, Q, \alpha))$ – результирующая вероятность, при заданных для соответствующего наблюдения значениях параметров; $S_0(t)$ – базовая вероятность безотказной работы, полученная, например, на основе распределения Вейбулла; t – фактический период эксплуатации аппарата; $tg\delta_1$ – отклонение тангенса угла диэлектрических потерь основной изоляции от базового значения; $\Delta tg\delta_1$ – отклонение модуля изменения тангенса угла диэлектрических потерь основной изоляции от базового значения; Q – отклонение уровня разрядной активности от базового значения; α – отклонение температурного коэффициента от базового значения; b_1, b_2, b_3, b_4 – весовые коэффициенты (количественная оценка влияния диагностических параметров).

Таким образом, модель остаточного ресурса, предложенная в [12] может быть существенно усовершенствована, путем внедрения в модель уровня разрядной активности, а также путем прогноза изменения значений диагностических параметров и расчета остаточного ресурса не на основе предположения о дальнейшем (по отношению к моменту расчета вероятности безотказной работы) износе только за счет естественного старения, а на основе прогноза значений диагностических параметров на базе алгоритмов «нечеткой» логики.

ВИВОДИ

Одним из наиболее важных диагностических параметров при организации непрерывного контроля вводов и трансформаторов тока является тангенс угла диэлектрических потерь и его изменение, также полезным может быть контроль разрядной активности, однако, данный параметр требует дальнейшего изучения. На основании практических результатов можно сделать вывод о возможности применения параметра «разрядная активность» в качестве дополнительного в моделях оценки вероятности безотказной работы аппаратов и прогноза остаточного ресурса, что позволит уточнить такие модели.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Норми випробування електрообладнання : СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007 – Офіц. вид., приказ Мінпаливенерго 2007-01-15 г. №13. – К. : ОЕП «ГРИФРЕ» : М-во палива та енергетики України, 2007. – 262 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
2. Сви П. М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения / П. М. Сви. – М. : Энергоатомиздат, 1992 – 240 с. : ил.
3. Доля О. Е. Повышение надежности эксплуатации вводов: Материалы 10-ой ежегодной конференции «Методы и средства контроля изоляции высоковольтного оборудования» – [Электронный ресурс] – 80 Min / 700 MB. – Пермь : ООО «Димрус», 2013. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) ; 12 см. – Систем. вимоги: Pentium ; 32 Mb RAM ; Windows 95, 98, 2000, XP ; Adobe Acrobat Reader 5.0.
4. Осотов В. Н. Ошибки при измерении диэлектрических характеристик и оценке состояния высоковольтных вводов: Материалы 10-ой ежегодной конференции «Методы и средства контроля изоляции высоковольтного оборудования» – [Электронный ресурс] – 80 Min / 700 MB. – Пермь : ООО «Димрус», 2013. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) ; 12 см. – Систем. вимоги: Pentium ; 32 Mb RAM ; Windows 95, 98, 2000, XP ; Adobe Acrobat Reader 5.0.
5. Verma P. Condition Monitoring of Transformer Oil and Paper : a Thesis Submitted for the Award of the Degree of Doctor of Philosophy / Piush Verma. – Patiala, India, 2005. – 172 с.
6. Проверка изоляции трансформаторов струму 330 - 750 кВ під робочою напругою: СОУ-Н МПЕ 40.1.46.301-2006. – Офіц. вид. – К. : ГРИФРЕ : М-во палива та енергетики України, 2006. – 31 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України. Інструкція).
7. Поляков В. С. Диагностика высоковольтных вводов и трансформаторов тока под рабочим напряжением : материалы семинара «Современное состояние и проблемы диагностики мощных силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов» [«Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования». Выпуск 11], (5 – 9 июня 2000 г.) – С.Пб. : ПЭИПК, 2000. – 387 с.
8. Шинкаренко Г. В. Контроль опорных трансформаторов тока и вводов силовых трансформаторов под рабочим напряжением в энергосистемах Украины / Г. В. Шинкаренко // Электрические станции. – 2001. – № 5. – С. 55–62.
9. Сахно А. А. Развитие методологии диагностики высоковольтного оборудования в системах непрерывного контроля SAFE - T // А. А. Сахно, С. П. Конограй, А. Г. Спица / МА ТРАВЭК, – 2013. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) ; 12 см. – Систем. вимоги: Pentium ; 32 Mb RAM ; Windows 95, 98, 2000, XP ; Adobe Acrobat Reader 5.0. – Д2-02. – Назва з контейнера.
10. Системы мониторинга высоковольтного оборудования SAFE-T. Режим доступа – <http://www.enera.com.ua/>
11. Системы непрерывного контроля трансформаторов тока и вводов. Режим доступа – <http://www.enera.com.ua/products/production/Safe-CT/>
12. Сахно А.А. Математическая модель прогноза остаточного ресурса трансформаторов тока 330 – 750 кВ с бумажно-масляной изоляцией конденсаторного типа / Сахно А.А. // Вестник НТУ «ХПИ». – 2010. – № 8. – С. 67–77.
13. Скрупская Л.С. Построение моделей диагностирования бумажно-масляной изоляции измерительных трансформаторов тока / Скрупская Л. С., Олейник А. А., Сахно А. А. // Электротехника и электромеханика – 2014. – № 2. – С. 48–51.

Стаття надійшла до редакції 21.05.2014.

Після доробки 28.05.2014.

Андрієнко П. Д.¹, Сахно О. А.², Конограй С. П.³, Спица А. Г.⁴, Скрупська Л. С.⁵

¹Д-р техн. наук, професор, Запорізький національний технічний університет, Україна

²Канд. техн. наук, старший викладач, Запорізький національний технічний університет, Україна

³Аспірант, Запорізький національний технічний університет, Україна,

⁴Аспірант, Запорізький національний технічний університет, Україна

⁵Старший викладач, Запорізький національний технічний університет, Україна

ОСОБЛИВОСТІ МОНИТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОСНОВНОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ВИСОКОВОЛЬТНИХ УВОДІВ І ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ

У статті представлено аналіз особливостей моніторингу технічного стану головної ізоляції трансформаторів струму та введів з точки зору вибору діагностичних параметрів, описано результати вимірювання характеристик часткових розрядів в ізоляції трансформаторів струму та введів різними приладами та зроблено висновки по доцільності контролю цих параметрів, а також запропоновано підхід до виміру характеристик

тик часткових розрядів в ізоляції під час експлуатації вводів та трансформаторів струму, запропоновано підхід до використання отриманих значень діагностичних параметрів для оцінки залишкового ресурсу високовольтних трансформаторів струму та вводів.

Ключові слова: моніторинг, увід, трансформатор, основна ізоляція, діагностування.

Andrienko P. D.¹, Sakhno A. A.², Konogray S. P.³, Spitsa A. G.⁴, Skrupskaya L. S.⁵

¹Doctor of Science, Professor, Zaporozhye National Technical University, Ukraine

²Ph.D., senior lecturer, Zaporozhye National Technical University, Ukraine

³Postgraduate, Zaporozhye National Technical University, Ukraine

⁴Postgraduate, Zaporozhye National Technical University, Ukraine

⁵Senior lecturer, Zaporozhye National Technical University, Ukraine

CHARACTERISTICS OF MONITORING CONDITION OF MAIN INSULATION OF HIGH-VOLTAGE BUSHINGS AND CURRENT TRANSFORMERS

The article devoted to an analysis of monitoring features of basic insulation condition, in terms of diagnostic parameters choice, it describes the measuring results of the partial discharges characteristics in bushings and current transformers by various devices. The usage of $\tan\delta$ for online monitoring of bushings and current transformers was justified. The usage of term «discharge activity» instead on «partial discharge» for online monitoring was justified, the examples of discharge activity measurement by various devices is represented. Approach to measuring partial discharge in the insulation during equipment operation was proposed. It lies in simplified spectral analysis of the high-frequency signal from the bushing test-tap and grounding of equipment. The approach to the using of the obtained values of diagnostic parameters, including partial discharges or so called «discharge activity», for assessing the remaining life of the current transformer and high voltage bushings based on Cox model and «fuzzy» logic algorithms was proposed.

Keywords: on-line monitoring, bushing, transformer, main insulation, diagnostic.

REFERENCES

1. Normy vyprovuvannya elektroobladnannya : SOU-N EE 20.302:2007, Ofits. vyd., prykaz Minpalyvenerho 2007-01-15 h. #13. Kiev, OEP «HRYFRE», M-vo palyva ta enerhetyky Ukrainy, 2007, 262 p. (Normatyvnyi dokument Minpalyvenerho Ukrainy).
2. Svi P. M. Metody i sredstva diagnostiki oborudovaniya vysokogo napryazheniya. Moscow, E'nergoatomizdat, 1992, 240 p., il.
3. Dolya O. E. Povyshenie nadezhnosti e'kspluatacii vvodov: Materialy 10-oy ezhegodnoj konferencii «Metody i sredstva kontrolya izolyacii vysokovol'tnogo oborudovaniya» – [E'lektronnyj resurs] – 80 Min / 700 MB. – Perm' : OOO «Dimrus», 2013. – 1 elektron. opt. disk (CD-ROM); 12 sm. – Sistem. vimogi: Pentium ; 32 Mb RAM ; Windows 95, 98, 2000, XP ; Adobe Acrobat Reader 5.0.
4. Osotov V. N. Oshibki pri izmerenii die'lektricheskixarakteristik i ocenke sostoyaniya Vysokovol'tnyx vvodov: Materialy 10-oy ezhegodnoj konferencii «Metody i sredstva kontrolya izolyacii vysokovol'tnogo oborudovaniya» – [E'lektronnyj resurs] – 80 Min / 700 MB. – Perm' : OOO «Dimrus», 2013. – 1 elektron. opt. disk (CD-ROM); 12 sm. – Sistem. vimogi: Pentium ; 32 Mb RAM ; Windows 95, 98, 2000, XP ; Adobe Acrobat Reader 5.0.
5. Verma P. Condition Monitoring of Transformer Oil and Paper : a Thesis Submitted for the Award of the Degree of Doctor of Philosophy. Piush Verma, Patiala, India, 2005, 172 p.
6. Perevirka izoliatsii transformatoriv strumu 330–750 kV pid robochoiu napruhoiu: SOU-N MPE 40.1.46.301-2006. – Ofits. vyd. – Kiev, HRIFRE, M-vo palyva ta enerhetyky Ukrainy, 2006, 31 p. (Normatyvnyi dokument Minpalyvenerho Ukrainy. Instruktsiia).
7. Polyakov V. S. Diagnostika vysokovol'tnyx vvodov i transformatorov toka pod rabochim napryazheniem : materialy seminara «Sovremennoe sostoyanie i problemy diagnostiki moshhnyx silovyx transformatorov i shuntiruyushhix reaktorov» [«Metody i sredstva ocenki sostoyaniya e'nergeticheskogo oborudovaniya». Vypusk 11], (5–9 iyunya 2000 g.), SPb, PE'IPK, 2000, 387 p.
8. Shinkarenko G. V. Kontrol' opornyx transformatorov toka i vvodov silovyx transformatorov pod ra-bochim napryazheniem v e'nergosistemax Ukrainy, E'lektricheskije stancii, 2001, No. 5, pp. 55–62.
9. Sakhno A. A., Konograj S. P., Spitsa A. G. Razvitie metodologii diagnostiki vysokovol'tnogo oborudovaniya v sistemax nepreryv-nogo kontrolya SAFE – T, MA TRAVE'K, 2013, 1 elektron. opt. disk (CD-ROM); 12 sm. – Sistem. Treb.: Pentium ; 32 Mb RAM ; Windows 95, 98, 2000, XP ; Adobe Acrobat Reader 5.0. – D2-02. – Nazvanie iz kontejnera.
10. Sistemy monitoringa vysokovol'tnogo oborudovaniya SAFE-T // <http://www.enera.com.ua/>
11. Sistemy nepreryvnogo kontrolya transformatorov toka i vvodov // <http://www.enera.com.ua/products/production/Safe-CT/>
12. Sakhno A. A. Matematicheskaya model' prognoza ostatochnogo resursa transformatorov toka 330 – 750 kV s bumazhno-maslyanoj izolyaciej kondensatornogo tipa, Vestnik NTU «XPI», 2010, No. 8, pp. 67–77.
13. Skrupskaya L. S., Olejnik A. A., Sakhno A. A. Postroenie modelej diagnostirovaniya bumazhno-maslyanoj izolyacii izmeritel'nyx transformatorov toka, Elektrotehnika i elektromexanika, 2014, No. 2, pp. 48–51.