

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО МАСЛОНАПОЛНЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ С ИЗОЛЯЦИЕЙ КОНДЕНСАТОРНОГО ТИПА ПОД РАБОЧИМ НАПРЯЖЕНИЕМ

*Рассальский А.Н., к.т.н., проф., Сахно А.А., асп., Конограй С.П., асп.,
Спица А.Г., асп., Гук А.А., асп.*

Запорожский национальный технический университет

69063, г. Запорожье, ул. Жуковского, 64

E-mail: a_asakhno@mail.ru

Введение. В настоящее время усилия всех производителей высоковольтного электротехнического оборудования направлены на повышение надежности их изделий, а также снижение эксплуатационных затрат потребителя. Потребители тоже заинтересованы в получении высоконадежного и не требующего дополнительных затрат в процессе эксплуатации оборудования. Однако, отказ – это величина вероятностная, поэтому ни один производитель не может гарантировать 100 %-ную безотказность своей продукции. Гарантия дает возможность потребителю застраховаться от дополнительных затрат на ремонт оборудования в период гарантийного срока, однако она не страхует потребителя от последствий выхода из строя данного аппарата. Также у потребителя, с учетом старения парка электрооборудования в России и Украине, часто возникает вопрос о продлении срока эксплуатации оборудования и расчета его остаточного ресурса.

По этой причине, перед пользователем встает вопрос о прогнозировании отказов аппаратов. Главным объектом контроля для всех маслонаполненных аппаратов с конденсаторной изоляцией является электрическая изоляция.

Прогнозирование отказов высоковольтного электротехнического оборудования с конденсаторной изоляцией является достаточно сложным и возможно только при непрерывном контроле характеристик его основной изоляции.

Системы непрерывного контроля (мониторинга) высоковольтной электроаппаратуры должны быть способны реализовывать диагностический контроль электрооборудования с определением его текущего состояния, фактического ресурса и предотвращением аварийного отказа оборудования.

Цель работы. На данный момент различные производители систем непрерывного контроля высоковольтного маслонаполненного оборудования с изоляцией конденсаторного типа используют различные методы контроля и различные диагностические критерии, однако, как используемые методы, так и критерии диагностики не одинаково эффективны.

В данной работе представлены основные принципы и требования к таким системам, а также список диагностических критериев, которые разработаны специалистами ООО «Энергоавтоматизация» и

используются в системах Safe-СТ™ и Safe-В™ при оценке состояния маслонаполненного оборудования с изоляцией конденсаторного типа, учитывая опыт эксплуатации систем, а также мнений специалистов энергосетей и производителей оборудования.

Материал и результаты исследований. Под мониторингом понимается непрерывное (т.е. с частотой большей, чем частота, необходимая для оценки наблюдаемого процесса) слежение за установленным параметром с целью контроля за приближением его значения (или зависящего от него значения другого параметра) к граничному, для последующего принятия соответствующего решения по восстановлению контролируемого параметра [1].

При наличии системы мониторинга сигнал о предаварийном состоянии оборудования или о необходимости более глубокого диагностического обследования должен поступать от нее.

Система автоматического контроля должна решать минимум задач и только тех задач, которые не могут быть решены или обеспечены иным образом.

Столь строгий подход диктуется исключительно экономическими соображениями: чем сложнее система контроля, тем она дороже, а с увеличением стоимости снижается целесообразность её применения [1].

Также не оправдана и чрезмерная упрощенность системы мониторинга, например, всем известные устройства серии КИВ-500, основанные на неравновесно-компенсационном методе контроля и предоставляющие в качестве диагностического параметра только значение вектора небаланса токов комплексной проводимости изоляции 3-х фазной группы объектов. Опыт эксплуатации таких приборов отрицателен [2, 3].

Нормативная база, требования к системам непрерывного контроля, браковочные критерии для оборудования, укомплектованного такими системами, находятся, на данный момент, на стадии разработки или морально устарели [2]. Например, для трансформаторов тока серии ТФРМ аварийным считается значение тангенса угла диэлектрических потерь основной изоляции ($\text{tg}\delta_1$) – 0,7%, и трансформатор бракуется по этой величине, с учетом того, что следующее периодическое измерение будет проводиться через год.

Для трансформатора тока (ТТ), укомплектованного системой непрерывного контроля, которая сохраняет всю историю измерений для этого ТТ на протяжении всего его срока службы, такое значение $\text{tg}\delta_1$ не обязательно должно быть браковочным. Решение должно быть принято с учетом всех дополнительных диагностических параметров, предоставляемых системой непрерывного контроля (СНК) и с ретроспективным анализом характеристик изоляции на протяжении длительного периода времени (не менее 1 года).

Основные принципы построения систем непрерывного контроля заключаются в следующем:

- частота контроля должна на порядок превышать время развития дефекта, а для исключения влияния случайных факторов, таких как влияние тока утечки по загрязненной поверхности изолятора, на результаты измерений проводится с частотой минимум 1 раз в час;
- система должна выдавать пользователю ряд дополнительных диагностических параметров, позволяющих сделать однозначное заключение о пригодности оборудования;
- измерения должны проводиться под рабочим напряжением;
- в СНК должны применяться стационарные схемы измерений, для автоматизации измерений, отсутствия необходимости в подготовке объекта к испытаниям, безопасности персонала;
- система должна обеспечивать накопление данных о состоянии оборудования за весь период его эксплуатации;
- СНК должна осуществлять автоматическую обработку и оценку данных, выдачу аварийных и предаварийных сообщений как дежурному персоналу подстанции, так и службам диагностики;
- система должна иметь механизм выявления тенденций и скоростей изменения параметров, что позволяет планировать ремонты оборудования и при необходимости производить срочное отключение объектов, находящихся в предаварийном состоянии;
- СНК должна иметь возможность удаленного просмотра оперативной и ретроспективной информации, а также возможность интеграции в систему стратегического планирования ремонтов оборудования;
- система должна иметь эффективные методы измерения основных характеристик изоляции, а также алгоритмы отстройки от внешних влияний и помех.

Главным принципом непрерывного контроля высоковольтного маслонаполненного электрооборудования с изоляцией конденсаторного типа под рабочим напряжением является: установление непрерывного или повторно-дискретного контроля для оборудования, эксплуатация которого возможна неопределенное время, с целью своевременного его вывода из эксплуатации для проведения предупредительного ремонта.

То есть переход от планового обслуживания оборудования к обслуживанию по его реальному состоянию.

На данный момент, основными диагностическими критериями для основной изоляции маслонаполненного оборудования с конденсаторной изоляцией являются:

1. Значение тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta_1$) и ёмкости (C_1) основной изоляции. Это наиболее важные диагностические критерии, так как они напрямую связаны с основными характеристиками изоляционного материала – диэлектрическими потерями и диэлектрической проницаемостью [4]. Диэлектрическая проницаемость определяется степенью поляризации диэлектрика. Для изоляционной конструкции вместо нее принято рассматривать пропорциональную ей емкость между электродами. Поскольку при поляризации происходит перемещение электрических зарядов, на это затрачивается энергия поля, часть этой энергии рассеивается в объеме диэлектрика – это и есть диэлектрические потери. Именно они и особенно их изменение характеризуют состояние диэлектрика. Диэлектрические потери – это мощность, которая 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 $\text{tg}\delta_1$ дает усредненную объемную характеристику состояния диэлектрика, так как активная составляющая тока, вызванная диэлектрическими потерями в местном дефекте, относится к общему емкостному току объекта. Именно изменение $\text{tg}\delta_1$ дает возможность зафиксировать дефект на ранней стадии развития и возможность прогнозирования отказа оборудования. Измерение емкости способно зафиксировать грубый дефект, такой как перекрытие части изоляции аппарата, на завершающей стадии повреждения, для немедленного аварийного его отключения.

2. Как уже было отмечено важным является не только абсолютные значения $\text{tg}\delta_1$ и C_1 , но их изменения за различные периоды, а также среднесуточные значения $\text{tg}\delta_1$.

3. Среднеквадратичное значение тока комплексной проводимости изоляции – является дополнительным диагностическим параметром, нормы ГKD 34.20.302-2002 и СОУ-Н МПЕ 40.1.46.301-2006 разрешают выполнять контроль двумя методами: измерением комплексной проводимости Y и (или) измерением $\text{tg}\delta_1$ и C_1 [5], но, как уже было отмечено в [3], нельзя согласиться с тем, что предлагаемые методы равноценны, так как контроль комплексной проводимости пригоден для отслеживания изменений ёмкости, однако не пригоден для контроля изменения $\text{tg}\delta_1$.

4. Амплитуда и фаза вектора небаланса токов комплексной проводимости изоляции группы, где амплитуда количественно характеризует дефект, а

фаза вектора указывает, в каком из трех объектов он развивается. Как уже было отмечено авторами в [3], данный метод непригоден для самостоятельного использования, поэтому может использоваться только как дополнительный.

5. Температурный коэффициент изоляции (температурная зависимость $\text{tg}\delta_1$) – дополнительный диагностический параметр, увеличение которого свидетельствует о развитии дефекта в конденсаторной изоляции.

6. Расчетное влагосодержание изоляции – может использоваться так же, как дополнительный диагностический параметр. Основные электрические характеристики бумажно-масляной конденсаторной изоляции ухудшаются с увеличением влажности. Хорошо высушенная изоляция имеет остаточное влагосодержание менее 1%. Резкое снижение пробивного напряжения наступает, если влагосодержание превысит 2,5-3%, что является предельно допустимым; при этом снижается почти в 2 раза и напряжение начала частичных разрядов критической интенсивности. В негерметизированных конструкциях за счет естественного влагообмена влагосодержание изоляционного остова через несколько лет эксплуатации может достигнуть 4–5%. При влагосодержании изоляции около 1% срок ее разрушения разрядами с зарядом 10 нКл – несколько тысяч часов; при влагосодержании 7% разрушение происходит за минуты [4]. Однако алгоритмы расчетного определения влагосодержания пока весьма не точны.

7. Величина сопротивления датчика измерения – так как все существующие датчики для СНК строятся на основе резистора или конденсатора, а измерительный вывод аппарата заземляется через его импеданс, то очень важно контролировать его значение. Отказ или обрыв датчика может стать причиной отказа высоковольтного аппарата.

8. Интенсивность частичных разрядов – частичные разряды (ЧР) в основной изоляции ТТ и ВВ являются первопричиной изменения $\text{tg}\delta_1$ и C_1 . Поэтому было бы логично контролировать интенсивность, уровень и суммарную мощность частичных разрядов. Наиболее ценным параметром частичных разрядов является, наверно, мощность, так как часто единичные большие по амплитуде ЧР не являются результатом дефекта изоляции, а малые, но с большой частотой повторения ЧР – представляют реальную угрозу аппарату. Подлежащие выявлению в эксплуатационных условиях частичные разряды имеют, как правило, большую амплитуду и интенсивность, и создание измерительных устройств с необходимой для этого чувствительностью не вызывает затруднений. Однако возможность выявления дефектов изоляции определяется обычно не чувствительностью аппаратуры, а внешними помехами. В условиях эксплуатации задача измерения частичных разрядов в первую очередь связана с устранением помех или снижением их уровня.

Выводы. Системы непрерывного контроля основных характеристик изоляции высоковольтного маслонаполненного электрооборудования с конденсаторной изоляцией должны позволить планировать ремонты оборудования и при необходимости производить срочное отключение объектов, находящихся в предаварийном состоянии. Обеспечить такие высокие требования способны системы, использующие эффективные диагностические критерии и методы их регистрации. Разработанные в представленной работе принципы непрерывного контроля и диагностические критерии, в сочетании с корректными методами и схемами измерения, реализованными на базе надежного аппаратно-программного комплекса, предоставляют производителям и потребителям высоковольтного маслонаполненного электрооборудования аппарат для эффективной диагностики и предотвращения аварийных отказов оборудования. Однако алгоритмы диагностики, критерии и требования требуют дальнейшей доработки. Также существует необходимость в создании нормативной базы, содержащей: основные требования к системам, диагностические критерии и их предельные значения, методы и погрешности измерения параметров. Такой подход обеспечит наибольшую эффективность систем непрерывного контроля под рабочим напряжением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аракелян В.Г. Цели, понятия и общие принципы диагностического контроля высоковольтного электротехнического оборудования // Электротехника. – М., 2002. – № 5. – С. 23 – 27.
2. Материалы заседания электроэнергетической секции научно-технического совета НЭК «Укрэнерго» по теме: «Вимірювальні оливо наповнені трансформатори струму і напруги 110-750 кВ. Діагностика. Рекомендації щодо продовження ресурсу» – Вінниця, 17-21 ноября 2008 г.
3. Рассальский А.Н., Сахно А.А., Конограй С.П., Спица А.Г., Гук А.А. Анализ методов непрерывного контроля характеристик изоляции трансформаторов тока и вводов на подстанциях 330-750 кВ // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук, 2009. – Вип. 3 (56). – Ч. 1. – С. 67 – 70.
4. Сви П. М. Контроль изоляции оборудования высокого напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 128 с.
5. ГКД 34.20.302-2002. Норми випробування електрообладнання. Затверджені Наказом № 503 від 28.08.02 Мінпаливенерго України. – К.: ГРИФРЭ, 2002.

Стаття надійшла 16.07.2009 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Чорним О.П.