

МОНИТОРИНГ АВАРИЙНОГО РЕЖИМА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ И АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ

АВТОРЫ:

М.Ю. ЛЬВОВ,
Д.Т.Н.,
АО «ОЭК»

Ю. Н. ЛЬВОВ,
Д.Т.Н.,
АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Предотвращение внутренних коротких замыканий, взрывов и пожаров силовых трансформаторов — одна из важнейших задач риск-ориентированного подхода к управлению активами электрических сетей и электростанций.

Ключевые слова: силовой трансформатор; автотрансформатор; аварийный режим; мониторинг; внутреннее короткое замыкание; силовая дуга.



Силовой трансформатор на современной высоковольтной подстанции

Согласно ГОСТ 16110-82 «Трансформаторы силовые. Термины и определения», аварийный режим трансформатора — это режим работы, при котором напряжение, ток обмотки или части обмотки таковы, что достаточная продолжительность такого их состояния угрожает повреждением трансформатора.

Наиболее тяжелым повреждением силовых трансформаторов является внутреннее короткое замыкание [1]. Согласно статистическим данным [2], повреждаемость силовых трансформаторов мощностью 63 МВА и более, напряжением 110 кВ и выше составляет 0,45 % в год для сетевых трансформаторов, 0,65 % в год для блочных трансформаторов тепловых электростанций. Треть таких повреждений сопровождается взрывами и пожарами.

Внутренние короткие замыкания в трансформаторах отключается штатными средствами защиты (как правило, срабатывает дифференциальная, газовая защиты трансформатора, отключается выключатель, приходит сигнал «Срабатывание предохранительного клапана» и «Перегрев обмотки»), при этом имеют место тяжелые повреждения трансформаторов от действия токов короткого замыкания, силовой дуги, а также взрывов и пожаров.

Предотвращение внутренних коротких замыканий, взрывов и пожаров силовых трансформаторов — одна из проблем в рамках риск-ориентированного подхода к эксплуатации силовых трансформаторов и автотрансформаторов напряжением 110 кВ и выше.

Оценка технического состояния силовых трансформаторов (автотрансформаторов) в эксплуатации ведется по комплексу контролируемых показателей и их нормативам. Основным документом, регламентирующим перечень испытаний силовых транс-

форматоров (автотрансформаторов) при вводе в работу и в процессе эксплуатации, предельно допустимые значения контролируемых показателей и периодичность контроля, является РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования» [3, 4]. При этом выход значений параметров за установленные границы (предельные значения) рассматривается как признак наличия повреждений (дефектов).

Следует подчеркнуть, что функционирующая в настоящее время в России система контроля показателей технического состояния силовых трансформаторов и автотрансформаторов напряжением 110 кВ и выше, основанная на периодическом контроле в соответствии с требованиями РД 34.45-51.300-97, по итогам многолетнего опыта эксплуатации показала свою эффективность в деле обеспечения эксплуатационной надежности данного вида оборудования. При этом в России действует система нормативно-технических документов (НТД) в части методических указаний и методик

применительно к оценке состояния силовых трансформаторов и автотрансформаторов, позволяющая эксплуатационным предприятиям в полном объеме реализовывать требования РД 34.45-51.300-97 [5].

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА С ЦЕЛЮ СВОЕВРЕМЕННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ РАЗВИВАЮЩИХСЯ ДЕФЕКТОВ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Следует отметить, что анализ опыта эксплуатации силовых транс-

ИЗ ГОСТ 16110-82 «ТРАНСФОРМАТОРЫ СИЛОВЫЕ»

Настоящий стандарт устанавливает применяемые в науке, технике и производстве термины и определения основных понятий в области силовых трансформаторов. Стандарт распространяется на силовые трансформаторы — трехфазные и многофазные мощностью 6,3 кВ·А и более однофазные мощностью 5 кВ·А и более.

1.2. Силовой трансформатор

Трансформатор, предназначенный для непосредственного питания потребительской сети или приемников электрической энергии, если эта сеть или приемники отличаются особыми условиями работы, характером нагрузки или режимом работы.
Примечание. К числу таких сетей и приемников электрической энергии относятся подземные шахтные сети и установки, выпрямительные установки, электрические печи и т. п.

2.25. Автотрансформатор

Трансформатор, две или более обмоток которого гальванически связаны так, что они имеют общую часть.

ПОЛЗУЩИЙ РАЗРЯД ПО ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОГО ЦИЛИНДРА



Рис. 1

форматоров и автотрансформаторов напряжением 110 кВ и выше показывает, что надежность силовых трансформаторов зависит в первую очередь от состояния изоляции. Снижение в процессе эксплуатации электрической и механической прочности маслобарьерной изоляции в локальном объеме изоляции трансформатора может приводить к возникновению частичных разрядов, обуславливающих формирование так называемых быстроразвивающихся дефектов электрического характера, сопровождающихся внутренними короткими замыканиями, взрывами и пожарами [6]. При этом необходимо отметить, что развитие данных дефектов (за исключением причин, связанных с недостатками изготовления, ошибками монтажа и ремонта) является следствием длительно развивающихся процессов, но при этом контролируемые показатели, измерение которых

осуществляется в соответствии с требованиями действующих нормативных документов, как правило (а в ряде случаев и в принципе), не позволяют своевременно обнаружить развитие процессов и дефектов, приводящих к их возникновению. В связи с этим необходимо выделить возникновение и развитие витковых замыканий в обмотке и ползущих разрядов в изоляции силовых трансформаторов и автотрансформаторов [1].

Своевременное обнаружение так называемых быстроразвивающихся дефектов в изоляции обмоток остается актуальной задачей. Также актуальной задачей является своевременное обнаружение предпробивного состояния изоляции трансформаторов в период его перехода в неработоспособное состояние до вывода в ремонт и в период эксплуатации силового трансформатора, перешедшего

в предельное состояние до вывода его из эксплуатации [7].

Анализ развития ионизационных процессов, приводящих к возникновению дефектов электрического характера, показывает, что надежный уровень их обнаружения происходит на предпробивной стадии развития дефекта. С учетом вышеизложенного необходимо отметить, что аварийный режим трансформатора может иметь место при эксплуатации силового трансформатора, в том числе находящегося в области допустимых регламентирующих показателей [6].

Перспективным направлением обнаружения возникновения аварийного режима силового трансформатора, связанного с развитием процессов, приводящих к возникновению внутренних коротких замыканий, является применение непрерывного контроля (мониторинга) показателей для обнаружения развития аварийного режима состояния силового трансформатора. При этом, как известно, в РД 34.45-51.300-97 отсутствуют показатели аварийного режима при использовании мониторинга. Также в настоящее время в нормативно-технической документации отсутствуют критерии для принятия решения о своевременном выводе из работы силового трансформатора (автотрансформатора) при возникновении аварийного режима до внутреннего короткого замыкания и срабатывания соответствующих защит. При этом очевидно, что эксплуатационным предприятиям необходимо иметь не только перечень показателей, обладающих диагностической ценностью для выявления аварийного режима трансформатора, но и критерии с указанием предельно допустимых значений для возможности принятия своевременных решений.

Использование систем мониторинга должно обеспечивать принятие

решений для своевременного вывода из работы трансформатора до появления силовой дуги, внутреннего короткого замыкания, взрыва и пожара. Результаты исследований и накопленный опыт эксплуатации позволяют сформулировать отсутствующую как в отечественной, так и в мировой практике систему показателей и критериев возникновения аварийного режима силового трансформатора, позволяющих принимать решения о выводе трансформатора из работы на основе непрерывного контроля (мониторинга) содержания водорода и углеводородных газов, растворенных в масле бака трансформатора, измерения соответствующих показателей частичных разрядов в изоляции и влагосодержания в масле [5].

ПОКАЗАТЕЛИ И КРИТЕРИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНОГО РЕЖИМА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ УЧЕТЕ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА

Показателями и критериями возникновения аварийного режима силового трансформатора (автотрансформатора) при учете данных мониторинга являются:

- превышение граничных концентраций углеводородных газов и рост скорости нарастания газов в масле более 10 % в месяц;
- относительная скорость нарастания концентрации водорода 1000 % в месяц (без учета до-

- достижения граничной концентрации);
- влажность трансформаторного масла более 30 г/т;
- регулярность частичных разрядов (ЧР) на уровне 0,5 (для неоднократно повторяющихся ЧР, возникающих в различные периоды воздействующего напряжения за длительность одного цикла регистрации ЧР);
- опасный кажущийся заряд не менее 10 нКл;
- длительность одного цикла регистрации ЧР от 1 с до 1 мин.

При возникновении хотя бы одного из критериев аварийного режима, связанного с превышением граничных концентраций даже одного из углеводородных газов, ростом концентраций более чем на 10 % в месяц, относительной скорости нарастания концентрации водорода 1000 % в месяц (без учета до-

достижения граничной концентрации) или влажности трансформаторного масла более 30 г/т, должно приниматься решение об отключении силового трансформатора и выводе его в ремонт.

Решение об отключении силового трансформатора на основе мониторинга показателей ЧР должно приниматься при совместном выполнении указанных выше показателей и критериев для определения степени опасности зарегистрированных ЧР.

При этом отметим:

- регулярность ЧР, а именно, отношение числа периодов воздействующего напряжения, в которых зарегистрированы кажущиеся заряды ЧР одного и того же значения, к общему числу периодов за длитель-

ВРЕМЕННЫЕ ГРАФИКИ СОДЕРЖАНИЯ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ И УРОВНЯ ВЛАЖНОСТИ В МАСЛЕ

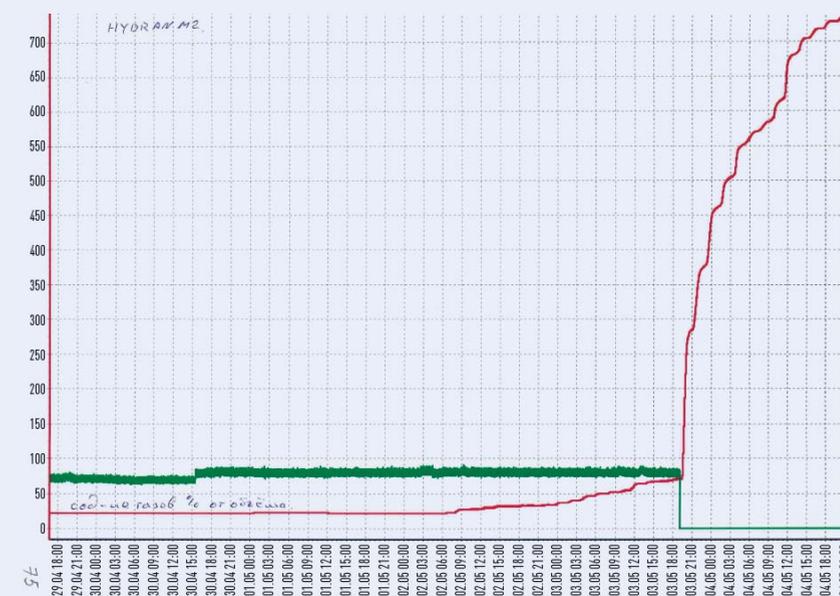


Рис. 2

ность одного цикла регистрации ЧР;

- кажущийся заряд неоднократно повторяющихся ЧР, а именно, значение кажущегося заряда ЧР, возникающих в различных периодах воздействующего напряжения за длительность одного цикла регистрации ЧР.

Ниже приведен пример развития аварийного режима силового трансформатора напряжением 500 кВ, оснащенного системой онлайн-мониторинга.

На трансформаторе установлены:

- штатные средства защиты;
- система непрерывного наблюдения за содержанием горючих газов и уровнем влажности в масле;
- система мониторинга характеристик ЧР.

Аварийное отключение трансформатора было вызвано действием его дифференциальной защиты. При этом было зафиксировано отсутствие возгорания и деформации бака трансформатора.

Причиной повреждения трансформатора явилось дуговое перекрытие верхней половины обмотки высокого напряжения фазы «В», имеющей ввод в середине обмотки. Дуговое перекрытие вызвано снижением электрической прочности маслобарьерной изоляции из-за развития ползущего разряда по поверхности электроизоляционного цилиндра, прилегающего к обмотке трансформатора. На рис. 1 показана фотография ползущего разряда по поверхности электроизоляционного цилиндра. При этом анализ временных графиков импульсов ЧР показал, что имел место резкий рост амплитуды ЧР за 36 ч до момента появления электрической дуги. На рис. 2 показаны временные графики со-

держания горючих газов и уровня влагосодержания масла.

Отмечается рост уровня концентрации газов за 36 ч до момента появления силовой электрической дуги от 22 до 70 ppm. На графике кривая обозначена как «содержание газов» (в % объема). При этом скорость нарастания содержания водорода составила 4363 % в месяц.

Приведенный анализ примера развития повреждения силового трансформатора показывает, что мониторинг углеводородных газов, в первую очередь водорода, а также оценка амплитуды ЧР обладают диагностической ценностью для выявления развития ползущего разряда и позволяют свидетельствовать о возникновении признаков развития аварийного режима работы трансформатора до возникновения внутреннего повреждения.

ВЫВОДЫ

1. Применение непрерывного контроля показателей состояния силового трансформатора и автотрансформатора является средством для своевременного выявления и предупреждения развития аварийного режима.
2. Использование систем мониторинга позволяет обеспечить своевременный вывод из работы силового трансформатора и автотрансформатора до возникновения силовой дуги и предотвратить внутреннее короткое замыкание.
3. Отсутствие в настоящее время в нормативно-технической документации перечня показателей и критериев определения аварийного режима работы силовых трансформаторов и автотрансформаторов не позволяет принимать решения о своевременном отключении

оборудования и вывода его в ремонт при наличии систем онлайн-мониторинга.

4. Разработанные критерии оценки возникновения аварийного режима работы силовых трансформаторов и автотрансформаторов по результатам онлайн-мониторинга соответствующих показателей позволяют дать рекомендации эксплуатационным организациям для принятия решений о своевременном выводе оборудования из работы для предотвращения возникновения внутреннего короткого замыкания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Майоров А.В., Львов М.Ю., Львов Ю.Н., Комаров В.Б. Методологические аспекты предотвращения внутренних коротких замыканий, взрывов и пожаров силовых трансформаторов при эксплуатации // Энергетик. 2018. № 5. С. 19–20.
2. Львов М.Ю. Анализ повреждаемости силовых трансформаторов напряжением 110 кВ и выше // Электричество. 2010. № 2. С. 27–31.
3. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. М.: Энас, 1998.
4. СТО 34.01-23.1-001-2017. Объем и нормы испытаний электрооборудования. Стандарт организации ПАО «Россети». Утв. распоряжением ПАО «Россети» от 26.05.2017 № 280р «Об утверждении стандарта организации».
5. Львов М.Ю., Львов Ю.Н., Черезов А.В. Развитие системы нормативно-технической документации для обеспечения эксплуатационной надежности силовых трансформаторов и автотрансформаторов напряжением 110 кВ и выше // Электрические станции. 2013. № 11. С. 49–55.
6. Львов М.Ю., Львов Ю.Н., Комаров В.Б., Кулюхин С.А., Митькин Ю.А., Вдовико В.П. Методологические аспекты развития частичных разрядов и контроля изоляции силовых трансформаторов в эксплуатации // Энергетик. 2017. № 9. С. 16–20.
7. Комаров В.Б., Львов Ю.Н., Львов М.Ю., Хазиахметов Р.М., Ершов Б.Г. Методологические аспекты, определяющие предельное состояние силовых трансформаторов в эксплуатации // Энергетик. № 8. 2016. С. 25–26.

Организаторы



АО «СО ЕЭС»



РусГидро



Россия



РОССЕТИ
ФСК ЕЭС



Электрификация

При поддержке



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



B5

Научно-технический партнер



МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА

Релейная защита и автоматика энергосистем-2020



26 - 28 мая 2020

Москва

Центр Международной
Торговли (ЦМТ)

www.rza-expo.ru