

УДК 621.314

## К ВОПРОСУ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Сивцов Н.А., Ратомский Е.И.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Збродыга В.М.

Для продления срока службы силовых трансформаторов важным является диагностирование наиболее вероятных дефектов, влияющих на снижение запаса прочности и повышающих вероятность выхода из строя (аварийной ситуации) в условиях эксплуатации, которыми являются:

- 1) дефекты электрической изоляции;
- 2) электромагнитные дефекты;
- 3) механические дефекты;
- 4) дефекты устройств ввода и регулирования под нагрузкой;
- 5) дефекты системы охлаждения трансформатора.

Важно не только выявить дефект, но и определить скорость его развития. При этом, качественное прогнозирование зависит от своевременного диагностирования, задачами которого являются объективная оценка, обнаружение отклонений и установление степени нарушения функционирования на основе измерения физических, химических или иных объективных показателей с помощью инструментальных или лабораторных методов исследования, представленных самостоятельной организационной структурой в виде оснащенных соответствующими аппаратами, лабораториями и специально подготовленными специалистами.

В качестве электрической изоляции в силовых трансформаторах широко применяются минеральное трансформаторное масло и целлюлозные материалы. Целлюлозная изоляция обеспечивает диэлектрическую прочность трансформатора и расстояние между обмотками, а также пространство между обмотками, которые имеют другой потенциал. Минеральное трансформаторное масло, благодаря пропитке в бумаге, повышает ее электрическую прочность.

Во время работы трансформаторы подвергаются воздействию электрических, термических и механических напряжений, что приводит к ухудшению изоляции. Последствиями являются быстрые химические реакции и разрушение материалов (из которых многие образуют газы в масле), повреждение изоляции, снижение эксплуатационной безопасности и, в конечном итоге, выход из строя или поломка.

Причины образования газов можно разделить на три категории: коронный или частичный разряд, пиролиз (разложение веществ под воздействием высоких температур), термическое разложение и искры. Большая часть энергии высвобождается во время искр с последующим перегревом и, наконец, из-за появления короны. Газы, которые появляются во время повреждения, являются типичными для разрушения системы изоляции: углеводороды, оксиды углерода и газы, которые не происходят из-за повреждений: водород (H<sub>2</sub>), метан (CH<sub>4</sub>), этан (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), ацетилен (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>), этилен (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), окись углерода (CO) и двуокись углерода (CO<sub>2</sub>) и другие[1].

Поэтому в качестве диагностирующего инструмента возможно использование трансформаторного масла, показатели которого можно разделить на 4 функциональные группы:

- 1) показатели идентификации;
- 2) показатели электрической прочности;
- 3) показатели старения;
- 4) показатели продуктов аномальной деградации.

Эффективность выявления дефектов повышается посредством изменения температуры и нагрузки перед отбором пробы, использование нескольких точек для отбора проб, тангенса угла потерь и температурной миграции влаги и газов. Разные масла образуют разные продукты окисления из них выделим основные:

- 1) продукты, ускоряющие декомпозицию целлюлозы,
- 2) проводящие и полярные,
- 3) продукты аккумуляции связанной воды.

Использование трансформаторного масла в качестве диагностирующего инструмента подразумевает анализ микрочастиц в масле, образованных при ненормальном режиме работы: перенапряжениях, пиролизе, разрядах. Анализ растворенного газа (АРГ) – лучший способ обнаружить неисправности в работе трансформаторов, который может выявлять и предупреждать 70 % самых частых случаев отказа силовых трансформаторов. В настоящее время хроматографический анализ газов трансформатора является одним из наиболее важных и наиболее чувствительных методов раннего обнаружения изменений состояния масляной бумажной изоляции.

В газовой хроматографии подвижной фазой является газ, который переносит компоненты смеси через неподвижную фазу. Неподвижной фазой служат твердый адсорбент или жидкость, нанесенная на твердый носитель. Газ-носитель поступает в хроматограф из баллона через редуктор. Обычно в качестве газа-носителя применяют гелий, азот, аргон. Ввод пробы осуществляется автоматически. Компоненты смеси проходят через колонку с потоком инертного газа, при выходе из колонки вещества попадают детектор, который позволяет идентифицировать их и определить количественно. В хроматограф с масс-селективным детектором позволяет проводить анализ объектов окружающей среды, лекарственных препаратов, пищевых продуктов и растительного сырья, а также проводить идентификацию компонентов веществ органического происхождения неизвестного состава. Рассмотрим устройство газожидкостного хроматографа. Основными узлами прибора являются баллон с газом носителем, масс-спектрометр, авто-сэмплер и газовый хроматограф. Хроматографическая колонка представляет собой полую металлическую проволоку, в качестве детектора используется подключенный к хроматографу масс-спектрометр, позволяющий получить масс-спектр каждого компонента смеси, выходящего из колонки. С помощью масс-спектров можно легко определить подлинность компонент. Сегодня не существует абсолютного метода, который бы позволял выполнять такую настройку со стандартами абсолютно известных концентраций газа [2].

Критерий скорости нарастания газов в масле при превышении концентрации газов за граничные значения является решающим для отключения трансформатора.

Отсутствие единой методики интерпретации результатов ГХА масла силовых трансформаторов и автотрансформаторов делает затруднительным сравнение состояния трансформаторов, которые контролируются разными организациями. Невозможно координировать критерии оценки состояния трансформаторов, использовать опыт других организаций [2].

С помощью ГХА определяем постепенно развивающиеся дефекты, такие как замыкания параллельных проводников в обмотке, дефекты потенциальных соединений экранирующих колец и других деталей, частичные разряды между дисками или проводниками из-за загрязнения масла, дефекты болтовых соединений, скользящих и подвижных контактов, образование замкнутых контуров тока через стяжные болты с двойным заземлением сердечника. Но существуют и быстроразвивающиеся дефекты, которые нельзя предупредить с помощью ГХА масла. К таким дефектам относятся мгновенно развивающиеся перекрытия с общими серьезными последствиями; перекрытия, развивающиеся в течение короткого времени - от секунд до минут (дефекты контакта токоведущих частей, замыкания витковой изоляции после динамических воздействий КЗ).

Измерение сопротивления обмоток постоянному току также входит в обязательный объем заводских контрольных испытаний каждого трансформатора. Кроме того, при поступлении информации о неисправности трансформатора от средств непрерывного контроля или средств периодического контроля, выполняемого без отключения трансформатора, в ряде случаев выполняют измерение сопротивления обмоток постоянному току для уточнения характера и места дефекта.

Эти измерения позволяют проверить: - качество соединений и паек, имеющихся в обмотках; - качество контактов в переключателях; - отсутствие обрывов, правильность числа параллелей (отсутствие обрывов одной или нескольких параллелей в обмотках, намотанных из нескольких параллельных проводников).

Сопротивление обмоток постоянному току измеряются по схеме «моста» или по методу потери напряжения (с помощью вольтметра и амперметра) [3].

Измеренные значения сравнивают с полученными ранее. Они не должны отличаться от исходных более чем на 5 %, а разница в измеренных на разных фазах не должна отличаться более чем на 2 % (при одинаковых положениях регулировочных отпаяк).

Измерение сопротивлений короткого замыкания позволяет определить нарушение геометрии обмоток силового трансформатора в результате механических воздействий при протекании больших токов или нарушения механизма прессовки.

При протекании по обмоткам трансформатора больших токов (например, токов внешних КЗ) возникают электродинамические силы, которые могут вызвать деформацию отдельных проводников, катушек или всей обмотки.

Вероятность повреждений при таких воздействиях зависит не только от значения тока, но и от числа внешних КЗ, создавших броски тока. Ослабление усилий прессовки приводит к повышенным вибрациям обмотки и, как следствие к витковым замыканиям из-за истирания изоляции [1].

Коэффициент трансформации измеряют с помощью специальных электрических схем (мостов) по способу компенсации или методом двух вольтметров, один из которых присоединяется к обмотке низшего, а другой к обмотке высшего напряжения [2]. Класс точности измерительных вольтметров должен быть не ниже 0,2. Коэффициент трансформации определяют на всех регулировочных ответвлениях обмоток и на всех фазах.

Проверку электрической прочности изоляции проводить при вводе маслонаполненных трансформаторов в эксплуатацию и капитальных ремонтах без смены обмоток и изоляции не обязательно. Испытание изоляции сухих трансформаторов обязательно.

При капитальном ремонте с полной сменой обмоток и изоляции испытание повышенным напряжением обязательно для всех типов трансформаторов.

Электрическую прочность изоляции между обмотками разных напряжений (ВН, СН, НН) и каждой из них относительно заземленных частей трансформатора определяют приложенным напряжением. Это испытание, называемое часто испытанием главной изоляции трансформатора, состоит в том, что от постороннего источника переменного тока через специальный испытательный трансформатор подают напряжение на испытываемую обмотку трансформатора, при этом один провод от испытательного трансформатора подключают к соединенным между собой вводам испытываемой обмотки, а другой - соединяют с заземленным баком. Все остальные вводы других обмоток, включая вводы расщепленных ветвей обмоток, а также зажимы измерительных обмоток трансформаторов тока, встроенных во вводы трансформатора, соединяют между собой и заземляют вместе с баком испытываемого трансформатора [3].

В результате приложения повышенного напряжения в испытываемой изоляции создается увеличенная напряженность электрического поля, что позволяет выявить в ней дефекты, не обнаруженные другими методами.

Наиболее характерными дефектами, выявляемыми при этом испытании, являются: — недостаточные расстояния между гибкими неизолированными отводами обмоток НН в месте их подключения к шпильке ввода; — наличие в трансформаторе воздушных пузырей; — некоторые виды местного увлажнения и загрязнения изоляционных деталей.

Для оценки состояния изоляции трансформатора в условиях производства на заводе применяют следующие методы испытаний: измерение сопротивления изоляции обмоток под напряжением постоянного тока; измерение тангенса угла диэлектрических потерь; испытание пробы трансформаторного масла; испытание электрической прочности изоляции обмоток напряжением промышленной частоты.

Результаты этих испытаний в процессе производства используют для проверки технологических режимов обработки изоляции (сушка, пропитка), а

также после окончательной сборки трансформатора перед испытанием прочности изоляции обмоток напряжением промышленной частоты; эти испытания являются исходными данными при оценке состояния изоляции на монтаже перед вводом его в эксплуатацию.

Используя статистические данные результатов ХАРГ для отдельных трансформаторов, возможно создать модель прогнозирования для оценки медленно развивающихся дефектов. Это позволит увидеть реальную перспективу использования конкретных трансформаторов в будущем и планировать различные мероприятия с целью предотвращения их внезапного выхода из строя [3].

Таким образом, учитывая требования современных энергосистем, вопрос надежности трансформатора является одним из главных приоритетов. Необходимость контроля работы трансформаторов возникает одновременно с началом их эксплуатации.

#### Литература

1. Диагностика силовых трансформаторов [Электронный ресурс]. –2020. – Режим доступа: [https:// ru.scribd.com/doc/24028189/Диагностика силовых трансформаторов/](https://ru.scribd.com/doc/24028189/Диагностика-силовых-трансформаторов/). – Дата доступа: 21.04.2020.
2. Оптимизация схемы диагностики силовых трансформаторов высших классов напряжения [Электронный ресурс]. –2020. – Режим доступа: <https://www.dissercat.com/content/optimizatsiya-skhemy-diagnostiki-silovykh-transformatorov-vysshih-klassov-napryazheniya/>. – Дата доступа: 22.04.2020.
3. Давиденко, И.В. Системы диагностирования высоковольтного маслонаполненного силового электрооборудования / И.В. Давиденко, В.Н. Осотов // Электрические станции.– 2003. – 117с.