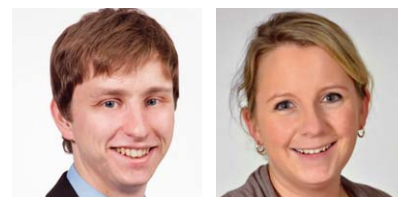


Правильно оценить состояние трансформатора и спрогнозировать возможность его дальнейшего использования – насущная задача для России, где значительное количество силовых трансформаторов 110 кВ и выше выработало нормативный срок. С помощью испытательного оборудования производства OMICRON эту задачу можно решить точно и оперативно.

ДИАГНОСТИКА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ЗА ОДИН ДЕНЬ



Корнелиус Плат,
менеджер
по продукции

Марейке Венг,
специалист
по маркетингу

OMICRON electronics GmbH

Группа инженеров-испытателей компании OMICRON получила задание провести комплексную оценку состояния силового трансформатора мощностью 300 МВА. Силовой трансформатор был предназначен для продажи, поэтому владелец и потенциальный покупатель желали иметь полное представление о состоянии различных компонентов трансформатора. Были выдвинуты четкие требования: все необходимые испытания следовало провести в течение дня, чтобы силовой трансформатор можно было ввести в работу уже на следующий день.

8:00 Прибытие на подстанцию

Утром силовой трансформатор был отключен от сети. Для своевременного выполнения всех необходимых испытаний был подобран следующий комплект испытательного оборудования:

- портативная система DIRANA для анализа диэлектрического отклика;
- портативная система FRANEO 800 для анализа частотного отклика;
- трехфазная система TESTRANO 600 для выполнения всех стандартных диагностических испытаний;
- дополнительный блок CP TD1 для измерения емкости и тангенса угла диэлектрических потерь.

Все вышеназванные испытательные системы довольно компактны и легко помещаются в автомобиле (фото 1). Это избавляет от необходимости доставлять габаритные устройства заблаговременно либо нанимать для транспортировки фургон или грузовик.

Чтобы упростить управление всеми испытательными устройствами на месте их эксплуатации, использовали программное обеспечение Primary Test Manager (PTM). Программное обеспечение PTM – идеальное ПО для диагностических испытаний: оно содержит пошаговые инструкции для различных испытаний процедур, в том числе подробные схемы подключения, и отличается высоким уровнем автоматизации. Кроме того, данное ПО автоматически оценивает полученные результаты испытаний по международным стандартам IEEE и IEC.

8:15 Подготовка к первым испытаниям

Перед испытаниями владелец силового трансформатора выслал фотографию его паспортной таблички. Это силовой трансформатор 220/110 кВ мощностью 200 МВА, со схемой соединения «звезда» на первичной и вторичной обмотках. Срок эксплуатации – 22 года. Все высоковольтные вводы имеют RIP-изоляцию (бумага, пропитанная смолой).

Данные трансформатора и его высоковольтных вводов были загружены в ПО PTM накануне; кроме того, с помощью этого ПО были подготовлены все задания для испытаний. Таким образом, время простоя трансформатора было сокращено до минимума, а инженер-испытатель смог сразу начать различные испытания на месте.

8:30 Первичная проверка силового трансформатора

Чтобы составить первоначальное представление о трансформаторе и его состоянии, оператор заранее взял пробы масла. На основе этих проб был проведен анализ растворенных газов (DGA). Анализ DGA позволяет выявить весьма широкий спектр неисправностей в активной части силового трансформатора.

Концентрации газов, перечисленные в отчете по результатам DGA, были занесены в форму DGA, специально созданную в PTM. Программное обеспечение автоматически применило все стандартные методы оценки. Ее результаты были наглядно отражены в форме графиков. Такая первоначальная проверка позволяет оценить изменение концентрации газов во времени либо скорость изменения определенных концентраций газов, являющихся показательными.

В данном случае ни треугольники Дюваля, ни соотношение газов не указывают на наличие каких-либо проблем, например частичных разрядов или признаков старения. Тем не менее для оценки общего состояния силового трансформатора до его продажи необходимо было провести еще ряд диагностических испытаний.

9:05 Анализ диэлектрического отклика

Испытательная система DIRANA была подготовлена для проведения анализа диэлектрического отклика, а зажимы подключены к высоковольтным вводам трансформатора (фото 2). С целью подавления нежелательных емкостных и активных токов на подстанции к баку был присоединен дополнительный экранирующий проводник.

Поскольку DIRANA работает под управлением ПО PTM, данная процедура очень проста и почти полностью автоматизирована. После ввода температуры масла все параметры измеряются и рассчитываются автоматически.

Чтобы ускорить процесс испытания, система DIRANA сочетает метод спектроскопии частотного диапазона (FDS) с усовершенствованной технологией измерения тока поляризации-деполяризации (PDC+). Примерно через 5 минут программное обеспечение проинформировало пользователя о необходимости выполнять измерение в течение еще 12 минут. Вся процедура, включая оценку, заняла 17 минут. Это невероятно мало. В случае использования одной лишь стандартной методики FDS измерение длилось бы более двух часов (в диапазоне частот от 1 кГц до 400 мкГц).

При влажности бумаги 1,5% массы и электропроводности масла 3 пСм/м изоляция была автоматически классифицирована как сухая, а проводимость масла — как весьма высокая. Все результаты были сохранены в PTM и задокументированы в базе данных оборудования одним нажатием кнопки.

9:40 Измерение емкости и тангенса угла диэлектрических потерь

Следующим этапом стало измерение емкости и тангенса угла диэлектрических потерь высоковольтных вводов трансформатора. Его провели с помощью системы TESTRANO 600 и вспомогательного блока CP TD1. Подобно анализу диэлектрического отклика с использованием DIRANA, данная процедура относится к испытаниям изоляции, но проводится в ограниченном диапазоне частот. В отличие от традиционного испытания, осуществляемого только на частоте сети, развертка по частоте от 15 до 400 Гц позволяет получить более точные результаты измерения. Благодаря этому дефекты и повреждения легко обнаружить на ранней стадии. Для выявления проблем с контактами внутри высоковольтного ввода была проведена дополнительная проверка свойств изоляции на разных уровнях напряжения.

Для этого высоковольтный кабель комплекта CP TD1 был подключен к закороченным высоковольтным вводам, а изме-

рительный кабель – к ПИНам измеряемых вводов. Измерялись высоковольтные вводы с RIP-изоляцией на высокой и низкой сторонах трансформатора. Сперва измерения проводились в диапазоне от 2 до 10 кВ при постоянной частоте, а затем в частотном диапазоне от 15 до 400 Гц.

Спустя два часа были получены результаты. Высоковольтные вводы на высокой стороне имели низкий коэффициент мощности: от 0,3 до 0,4% частоты сети. Помимо этого, развертка по частоте и проверка свойств изоляции не показали каких-либо признаков наличия проблем, а значения емкости соответствовали результатам, полученным при заводских испытаниях.

В трех из четырех высоковольтных вводов на низкой стороне признаков дефектов также не обнаружено. Коэффициент мощности высоковольтного ввода на фазе В, на первый взгляд, был в пределах нормы: 0,5% при 50 Гц. Однако при частоте 15 Гц он составлял уже 1,1% – это намного выше стандартного значения и свидетельствует о неисправности. Была проведена повторная процедура испытания, с двойной проверкой подключений, но она показала такой же результат. Скорее всего, причиной стало попадание внутрь влаги, следовательно, во избежание отказа высоковольтный ввод требовалось срочно заменить.

По итогам первичной оценки, изоляция силового трансформатора находится в хорошем состоянии, за исключением одного высоковольтного ввода. После обеда рабочая группа тщательно исследовала обмотки и сердечник трансформатора.

13:00 Подготовка ко всем стандартным электрическим испытаниям

После обеда были проведены все стандартные диагностические испытания с использованием системы TESTRANO 600. Схема подключения была изменена, а дополнительный блок CP TD1 отключен.

Процедура испытания выглядела просто и включала следующие подготовленные в РТМ задания:

- трехфазное измерение потерь холостого хода на малом напряжении;
- трехфазное измерение полного сопротивления короткого замыкания;
- измерение коэффициента трансформации параллельно с измерениями тока возбуждения;
- пофазное измерение сопротивления обмоток на высокой стороне, в том числе измерение динамического сопротивления устройства РПН (DRM OLTC);
- трехфазное измерение сопротивления обмотки на низкой стороне;
- размагничивание;
- анализ частотного отклика обмоток.

13:10 Измерение полного сопротивления короткого замыкания

Трехфазное измерение полного сопротивления короткого замыкания на высокой стороне было выполнено при закороченной низкой стороне. Ток и напряжение на высоковольтной обмотке были измерены по амплитуде и фазе. В данном случае измерение было выполнено на ответвлениях 1, 10 и 19. Значения отклонений составили всего лишь 0,2% для ответвления 1, 0,3% для ответвления 10 и 0% для ответвления 19.

После этого для подготовки к дальнейшим испытаниям схему подключения изменили на низкой стороне. Теперь один кабель подключен к высокой стороне трансформатора, второй – к стороне низкого напряжения, а третий – к РПН. Простая схема подключения с использованием всего трех многопроводных кабелей, цветные кабели и панель подключения с цветовой маркировкой на боковой части корпуса TESTRANO 600 обеспечивают быстрое и безопасное подключение (фото 3).

13:30 Измерение коэффициента трансформации и тока намагничивания

Коэффициент трансформации измеряется на всех ответвлениях. С помощью TESTRANO 600 можно управлять РПНом; переход от одного ответвления к другому осуществляется автоматически. Результаты измерений коэффициента трансформации не указывали на наличие каких-либо аномалий. Отклонения составляли менее 0,5% номинального коэффициента, что ниже предельного значения допуска по стандарту IEC 60076-1.

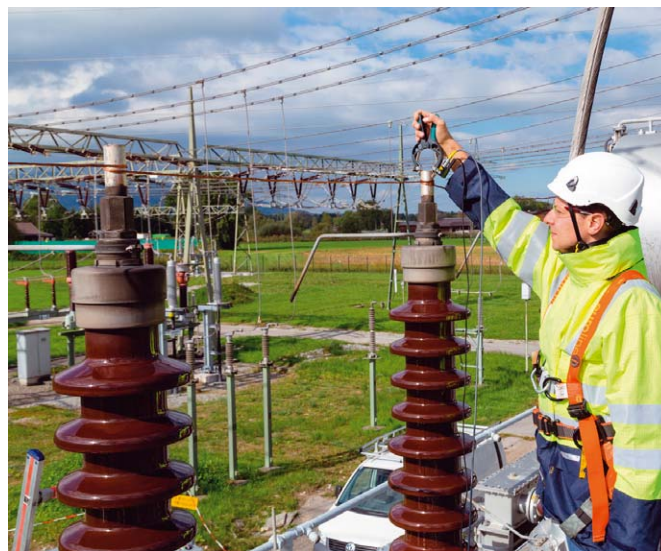
Погрузка деталей комплекта для испытания силового трансформатора

Фото 1 •



Подключение системы DIRANA к высоковольтным вводам

Фото 2 •



Подключение системы TESTRANO 600 к высоковольтным вводам

Фото 3 •



• Фото 4. Результаты измерения коэффициента трансформации и тока намагничивания (скриншот)



• Фото 5. Зажимы FRANEO 800



Параллельно с измерением коэффициента трансформации были измерены значения тока возбуждения для всех трех фаз. Результат измерения соответствовал стандартным значениям токов возбуждения для трехстержневой конструкции сердечника с двумя идентичными высокими значениями на внешних фазах и одним более низким значением на центральной фазе (фото 4).

13:45 Измерение сопротивления обмотки постоянному току

Измерение сопротивления обмотки постоянному току было произведено как на высоковольтной, так и на низковольтной обмотке. На высокой стороне измерение сопротивления обмотки проводилось одновременно с измерением динамического сопротивления (DRM) для исследования процесса переключения в устройстве РПН.

Для хорошего разделения фаз при работе переключателя ответвлений комбинированные измерения на высокой стороне проводились в однофазном режиме. И наоборот, измерение сопротивления низковольтной обмотки, подключенной по типу «звезда», было выполнено в виде трехфазного испытания. Процедура проведения обоих испытаний полностью автоматизирована, подаваемый ток – 33 А в каждую фазу. В данном случае использовалась та же схема подключения, что и для измерений коэффициента трансформации и тока возбуждения.

Спустя тридцать минут измерения на высокой стороне для всех 19 положений переключателя ответвлений были завершены. Результаты не вызвали никаких опасений. Благодаря встроенному в TESTRANO 600 трехфазному источнику трехфазное измерение на низкой стороне заняло всего 5 дополнительных минут. Полученные значения были признаны удовлетворительными, поскольку разность составляла менее 2%, что вполне допустимо.

14:30 Размагничивание

При подаче напряжения постоянного тока на сердечник трансформатора (например, при измерении сопротивления обмотки постоянному току) последний намагничивается. При

повторном включении из-за наличия в сердечнике остаточной намагниченности пусковой ток трансформатора резко возрастает и может достигать максимума тока короткого замыкания. Это может нанести вред трансформатору, особенно при повторном вводе его в эксплуатацию.

Еще одна опасность состоит в том, что намагниченный сердечник влияет на последующие измерения и может помешать правильно интерпретировать их результаты. Размагничивание сердечника и правильное заземление позволяют провести более точный анализ частотного отклика обмоток, выполняемый сразу же после указанных операций.

Размагничивание производится на той же установке, что и предыдущие процедуры. Установка TESTRANO 600 размагнитила сердечник автоматически, уровень остаточной намагниченности составил менее 1%.

14:55 Анализ частотного отклика обмоток

На завершающем этапе трансформатор – его магнитный сердечник, обмотки и клеммные зажимы – был проверен на наличие механических повреждений. Для этого понадобилось провести анализ частотной характеристики (SFRA). Помимо прочего, SFRA-измерение позволяет получить новое эталонное значение – так называемый отпечаток пальца состояния трансформатора перед его отправкой новому владельцу, чтобы затем оценить качество транспортировки.

Испытательная группа отключила установку TESTRANO 600 и подготовила провода для SFRA-измерений. Поскольку до этого эталонные измерения не проводились, кривые измерения трех фаз следовало сравнить пофазно. Различия между отдельными кривыми могут указывать на изменения, перемещение или деформацию внутренних компонентов.

Ко всем высоковольтным вводам были подсоединены зажимы системы FRANEO 800 для SFRA-измерения (фото 5). Для устранения любого влияния системы заземления на результаты измерения необходимы заземляющие оплетки, проходящие вдоль изоляторов каждого ввода. Воспроизводимость измерений SFRA зависит от используемой установки и технологии соединения.

Для SFRA применяется напряжение в диапазоне от 0,1 до 10 В_{пит}. Поскольку высокое напряжение не подается, параллельно могут работать два инженера-испытателя. Пока один, сидя за ноутбуком, запускает различные испытания пофазно с помощью РТМ, другой уже подключает следующий высоковольтный ввод. Таким образом специалисты успевают проверить все соответствующие фазы первичной и вторичной обмоток всего за 30 минут. Контрольное измерение проведено, сравнение не показало никаких отклонений, все важные графики и данные сохранены в базе данных РТМ.

15:40 Оценка результатов и составление отчета

Все необходимые испытания были выполнены и задокументированы в РТМ в течение дня. Их результаты свидетельствуют о том, что силовой трансформатор находится в хорошем состоянии. Проведенные диагностические испытания не показали наличие иных механических или электрических дефектов, кроме упомянутого выше. Очевидное опасение внушало лишь состояние одного из высоковольтных вводов. Но поскольку об этом стало известно, ввод можно было заменить перед продажей во избежание возможных отказов.

Все данные, касающиеся оборудования и проведенных испытаний, были занесены в РТМ. В соответствии с требованиями к работе оператора прямо на месте испытаний был составлен комплексный пользовательский отчет, который был переслан потенциальному клиенту в течение нескольких дней.

16:00 Отъезд с территории подстанции

Всё испытательное оборудование было снова погружено в машину, после чего рабочая группа покинула территорию подстанции. Силовой трансформатор в рабочем порядке подготовлен к включению в сеть.

Комплекс испытательных систем, предлагаемых сегодня компанией OMICRON, помогает практически безошибочно определить состояние и ресурс силового трансформатора, причем сделать это с минимальными затратами труда и рабочего времени. ■