

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ВО ВРЕМЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Учащийся филиала группы 68Э46 Переходюк Д.В.,  
преподаватель Тозик Е.Ф.*

*Филиал БНТУ «Минский государственный политехнический колледж»*

**Введение.** Силовой трансформатор – главный элемент энергоснабжения любого предприятия. В случае выхода из строя, предприятие несет убытки, причем, затраты не запланированные и достаточно большие. В среднем срок службы трансформатора 25 лет, но, т.к. трансформатор стоит достаточно дорого, то они остаются в эксплуатации свыше этого срока. Например, обмотки можно эксплуатировать более 40 лет. В основном трансформаторы выходят из строя из-за старения изоляции. Для поддержания эксплуатационной надежности проводится диагностика. Основные параметры можно замерить на отключенном трансформаторе, что может привести к простоям в работе предприятия, следовательно, наиболее актуальными являются методы диагностирования без отключения от номинального напряжения. В ходе диагностирования можно определить степень надёжности, что позволит заранее запланировать расходы на ремонт.

**Основная часть.** Прежде чем рассматривать процесс диагностирования необходимо перечислить основные дефекты трансформаторов. Отклонения от нормы могут возникнуть из-за несовершенства конструкции, скрытые дефекты материала, плохая сборка, нарушения правил транспортировки, нарушены правила монтажа, правила эксплуатации, не качественно был выполнен предыдущий ремонт. Все эти факторы постепенно влияют на надежность трансформатора, если выявить их заранее, то можно избежать аварий.

Основные дефекты:

- повреждение высоковольтных вводов 110 кВ (воздействие влаги на масляной гидрозатвор и силикогелевый воздухоосушитель в негерметичных вводах – масло увлажняется и возникают разряды в масле, расплзающиеся прожоги, короткое замыкание на заземляющую часть; нарушена герметичность контактной шпильки – в результате увлажнение изоляции трансформатора);

- повреждение устройств регулирования напряжения (недостаточное или чрезмерное нажатие, перекосы; окисление контактов, нарушение кинематики, замыкание не через дугогасящий резистор, а через электрическую дугу, ослабление крепления);

- повреждения обмоток и главной изоляции трансформаторов (плохо просушенные электрокартон или витковая бумажная изоляция, загрязнение или увлажнение трансформаторного масла, возникновение ползущего разряда, пробой, не соблюдены размеры между листами электрокартона, разбухание слабо намотанной изоляции, нарушения в работе системы охлаждения,

чрезмерные перегрузки трансформатора по току и напряжению, ослабленная запрессовка обмоток, местный нагрев);

- повреждения вспомогательных узлов и устройств (повреждение маслососа, попадание металлических частиц и других примесей в трансформаторное масло, неисправность стрелочного маслоуказателя).

Все эти неисправности развиваются постепенно, следовательно, если вовремя выполнить диагностику, то можно выявить скрытый дефект и предупредить аварию.

Диагностика подразделяется на визуальную, механическую, физическую, химическую, а также комбинацию данных видов.

Диагностика производится постоянно на протяжении всей работы трансформатора и носит комплексный характер.

Особое внимание уделяется методам диагностирования состояния трансформатора без отключения и без прикосновения к работающему оборудованию.

*Хроматографический анализ газов*, растворенных в масле трансформатора. По наличию определенных наборов газов и их концентрации, выявляются повреждения трансформатора.

С помощью анализа количества и соотношения газов в трансформаторном масле можно обнаружить следующие дефекты в трансформаторе:

1. Перегревы токоведущих частей и элементов конструкции магнитопровода;
2. Дефекты твердой изоляции;
3. Электрические разряды в масле.

*Тепловизионное диагностирование.* При образовании дефектов в конкретных местах трансформатора, они «заглушаются» естественным тепловым излучением от магнитопровода и обмоток, что затрудняет тепловизионный процесс диагностирования.

С помощью тепловизионной техники в силовых трансформаторах можно выявить следующие дефекты:

- витковое замыкание в обмотках интегрированных трансформаторов тока;
- неисправности контактной системы регулирования под напряжением (РПН);
- возникновение магнитных полей рассеяния в трансформаторе за счёт нарушения изоляции отдельных компонентов магнитопровода (консоли, шпильки и т.п.);
- дефекты в системе охлаждения трансформатора (маслососы, фильтры, вентиляторы и т.п.) и оценка её эффективности;
- изменение внутренней циркуляции масла в баке трансформатора (образование застойных зон) в результате шламообразования, конструктивных просчётов, разбухания или смещения изоляции обмоток (характерно для трансформаторов с большим сроком эксплуатации);
- нагревы внутренних контактных соединений обмоток низкого напряжения (НИ) с выводами трансформатора;
- обрывы шинок заземления;

- нагревы на аппаратных зажимах высоковольтных вводов;
- неисправность обогрева приводов РПН и т.п.

*Вибродиагностика.* Со временем прессовка магнитопровода слабеет и вибрация усиливается, изменяется частота вибраций, появляются модулированные колебания.

Для измерения вибрации используется переносной виброанализатор.

Для трансформаторов не существует нормируемых значений по вибрации. Однако существует опыт накопленный некоторыми организациями который можно использовать при выдаче результатов вибрационного обследования.

*Оценка состояния обмоток по значению сопротивления КЗ.* Относится к методам непрерывного контроля. Под воздействиями токов КЗ в обмотках остаются остаточные деформации.

Данной проблемой занимаются Александр Хренников, д.т.н., профессор кафедры ИИТ, НИУ МЭИ и Андрей Нестеренко, магистрант НИУ МЭИ. Они разработали информационно-измерительную систему, обеспечивающую непрерывный контроль за состоянием обмоток по величине параметра сопротивления КЗ (или индуктивности  $L$ , так как это взаимосвязанные параметры) как наиболее чувствительного к появлению деформаций обмоток в результате КЗ.

Устройство не требует отключения трансформатора от сети и позволяет производить контроль в режиме реального времени. Вся система защиты (блоки вычисления, сравнения и отключения) должна обладать достаточным быстродействием для своевременного отключения трансформатора в случае возникновения аварийных и ненормированных режимов работы. Максимальное время срабатывания защиты от начала оцифровки входных параметров до размыкания силовой цепи должно составлять не более 0,5 периода (0,01 с).

*Диагностика механического состояния обмоток методом частотного анализа (МЧА).* Принцип метода частотного анализа заключается в том, что от специального генератора на ввод обмотки (или в нейтраль) подается зондирующий сигнал (импульсный или синусоидальный, а с вводов других обмоток регистрируются отклики - реакции обмоток на воздействие зондирующего сигнала.

Изменения геометрии обмоток из-за деформаций, смещения и т.д. приводят к изменению соответствующих емкостей и индуктивностей, а значит к изменению реакции обмоток на воздействие зондирующего сигнала. Характер изменения частотного спектра отклика зависит от величины и характера деформаций.

Средства, позволяющие проводить диагностику под напряжением:

- универсальный анализатор радиопомех;
- переносные диагностические приборы серии ТТР быстрого испытания Megger;
- стационарная система диагностического мониторинга силовых трансформаторов;
- диагностическая система TDM-M;

- диагностика на основании математических моделей подсистем трансформатора;
- газоанализатор для контроля концентрации растворённых газов в масле бака трансформатора;
- Прибор для контроля технического состояния устройства РНП трансформатора.

Также, при эксплуатации трансформаторов, необходимо осуществлять оперативный контроль за нагрузкой трансформатора. Так как работа трансформатора с нагрузкой, превышающей нормальную, приводит к быстрому старению и изнашиванию основных частей трансформатора (обмотки магнитопровода, изоляции обмотки и т.д.). Для этого используются электросчётчики, позволяющие измерять нагрузку трансформатора в реальном времени без погрешностей. Все параметры сохраняются в памяти счётчика и выводятся на табло.

**Заключение.** Регулярное проведение диагностики силовых трансформаторов даёт возможность обнаружить на раннем этапе возникновение неполадок, запланировать проведение ремонтных работ, следовательно, увеличить срок службы дорогостоящих силовых трансформаторов. Наибольшая эффективность диагностирования будет достигаться в случае комбинирования рассмотренных методов диагностики.

Недостатком диагностики является в основном отсутствие утвержденных нормативных документов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Львов, М. Ю. Анализ повреждаемости силовых трансформаторов напряжением 110 кВ и выше / М.Ю. Львов. – ТРАВЭК . ОАО «Холдинг МРСК», 2009. – 120 с.
2. Gafvert, U. Modelling of dielectric measurements on power transformers / U. Gafvert, G. Frimpong, J. Fuhr. - Proc. 37th Session "Large High Voltage Electric Systems" (CIGRE). France, 1998. – 103 p.
3. Ryder, S. Frequency Response Analysis for Diagnostic Testing of Power Transformers / S. Ryder, Electricity Today Mag. Article, Issue 0601, 2006. – 203 p.
4. Хренников, А.Ю. «On-line» система защиты и мониторинга механического состояния обмоток силовых трансформаторов и реакторов / Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2007. № 2(20).
5. Устройство контроля и защиты обмоток трансформаторов от деформации при коротких замыканиях : патент РФ № 2136099 / А. Ю. Хренников, 1999. Бюл. № 24.
6. Хренников, А.Ю. Техническая диагностика, повреждаемость и ресурсы силовых и измерительных трансформаторов и реакторов. Монография. / А.Ю. Хренников, В.Г. Гольдштейн М.: Энергоатомиздат, 2007 – 86 с.