

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

т.и.д., профессор Т.Т.Оморов

Рахимов Дилмурод Марипжанович -

Аспирант Ошский технологический университет

Muratrahimov@mail.ru

T.T.Omorov@mail.ru

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7572798>

Аннотация: В статье даны краткие сведения о силовых трансформаторах, главные поломки и предпосылки выхода силового трансформатора из строя; разработка классификаций недостатков в трансформаторе и стадии их становления, несоблюдение обычных режимов, обстоятельства предъявляемые к защите трансформаторов и применяемые типы защиты силовых трансформаторов, а также рассмотрены пути увеличения эксплуатационной надежности и продления срока службы трансформатора.

Ключевые слова: Силовой трансформатор, надежность, эксплуатационная надежность, отказ, недостаток, диагностика, мощность, коэффициент применения, переустройство, употребление.

RESEARCH AND TECHNICAL DIAGNOSTICS OF POWER TRANSFORMERS

Abstract: The article provides brief information about power transformers, the main breakdowns and prerequisites for the failure of a power transformer; the development of classifications of shortcomings in the transformer and the stages of their formation, non-compliance with conventional modes, the circumstances imposed on the protection of transformers and the types of protection used for power transformers, as well as ways to increase operational reliability and extend the service life of the transformer.

Keywords: Power transformer, reliability, operational reliability, failure, fault, diagnostics, power, coefficient of application, conversion, use.

ВВЕДЕНИЕ

Важная доля электронного оснащения станций, подстанций, системы передачи и распределения электричества выработала личный ресурс, но продолжает эксплуатироваться, например, как на подмену оснащения потребуются гигантские финансовые способы.

Силовые трансформаторы считаются критичными компонентами передовых энергетических систем. Они применяются для наращивания и понижения напряжения, дабы гарантировать передачу и рассредоточивай электронной энергии. Но, как правило, они очень надежны, в нынешнем обществе отказы, которые приводят к остановке подачи энергии в жилые жилища и в промышленные строения, делаются все наименее применимыми для покупателей и регуляторов. Это дополняется высочайшими экономическими расходами и вопросами защищенности, касающихся отказов и внезапных отключений подачи энергии.

В силу большого количества объективных причин, связанных с развитием и реорганизацией современной электроэнергетики, все большее внимание уделяется внедрению систем мониторинга и диагностики высоковольтного оборудования, в частности, силовых трансформаторов.

Вопрос определения состояния трансформаторов с каждым днем становится всё более актуальным и прямо пропорционален динамике износа парка оборудования, которое находится в эксплуатации. В настоящее время около 60% действующего оборудования отработало свой эксплуатационный срок, и требует замены. На сегодняшний день, 40% трансформаторного оборудования имеет средний возраст от 18 лет, и требуют проведение капитального ремонта. Незамедлительная, полная оценка состояния трансформатора дает возможность продолжать его эксплуатацию, проведение диагностики позволяет избежать не только финансовых затрат, но и потерь, связанных с аварийным отключением электроснабжения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для продления срока жизни трансформатора, а также, его дальнейшего эксплуатации необходимо точное и своевременное диагностирование, то есть определение технического состояния.

Техническая диагностика как область знаний, занимается теорией, методами и средствами обнаружения и поиска дефектов, под которыми следует понимать любое отклонение характеристик объекта от заданных. Установление несоответствия параметров и характеристик объекта – одна из задач диагностирования [1].

Быстрый рост спроса на электрическую энергию в 1990-х и 2000-х годах создал предпосылки для значительных инвестиций в энергетическую инфраструктуру, включая и трансформаторы для существовавших и более высоких уровней напряжения для экономичной передачи постоянно увеличивающихся объемов энергии, требуемой потребителям.

Большое количество этих трансформаторов сегодня имеют возраст, превышающий 40 лет. Со старением трансформаторов появляется обеспокоенность по поводу их способности продолжать надежную работу. Некоторые трансформаторы способны работать долгое время (более 50 лет после начальной установки), а другие могут быть подвержены отказам через относительно небольшой период времени.

Хронологический возраст трансформатора и величина его старения за это время не всегда хорошо коррелируют друг с другом. К релевантным факторам, оказывающим влияние на реальный период работы трансформатора, относятся его конструкция, обслуживание, воздействие на него внешних скачков напряжения и отказов, нагрузка, температура, в которой он функционирует, периодичность работы, окружающая среда, и многое другое.

Все энергоснабжающие организации и производители электрической энергии, парк трансформаторов которых достаточно стар, должны, в какой-то момент времени, задуматься о перспективах очень затратных проектов по замене старого оборудования с тем, чтобы гарантировать высокую надежность и качество работы. Оценки всех этих активов должны включать в себя затраты, связанные с отказом устройств, с неожиданными отключениями, с последующими повреждениями, с восстановлением напряжения, с выплатой штрафов, а также операционные затраты, относящиеся к исправлению создавшейся ситуации [3].

Эти стареющие трансформаторы работают в условиях увеличенной операционной температуры в связи с более высоким спросом и пониженными возможностями для его удовлетворения. Чтобы обеспечить более высокую надежность стареющего парка

оборудования, необходим способ оценки, позволяющий идентифицировать трансформаторы с высоким риском отказа. К счастью, сегодня существуют проверенные средства, позволяющие смягчить эти риски. К более устойчивым, надежным электрическим системам приводят превентивные действия с хорошими диагностическими программами, процедуры обслуживания, и планы замены и обновления оборудования, а также стратегии нагрузки и экономии.

Безотказность и бесперебойность работы оборудования, сетей, систем, станций зависит от параметра надежности работы, потому что они являются основными элементами энергосистемы. В современное время все больше появляется необходимость в силовых трансформаторах с большим сроком службы работы, поэтому для удовлетворения цели выдвигают задачи их реализации, главными параметрами которых считаются надежность, работоспособность, жизненный цикл.

Силовые трансформаторы являются основными элементами электрических сетей и систем, которые определяют неотъемлемую часть эксплуатационной надежности и экономичности срока службы трансформатора. Отключения при авариях, дефекты и повреждения приводят к затратам, убыткам и моральному износу оборудования.

Поэтому одной из актуальных задач повышения надежности и качества функционирования электрических систем является оценка эксплуатационной надежности для учета ее при проектировании и совершенствования системы технического обслуживания и ремонта трансформаторов [2].

Продление, увеличение жизненного цикла ресурса определенного силового трансформатора осуществляют при помощи проведения комплексного технического обследования.

Несмотря на то, что у трансформаторов отсутствуют движущееся и вращающееся части в процессе эксплуатации возможны и практически имеют место повреждения и нарушение нормальных режимов работы. Поэтому трансформаторы должны оснащаться релейной защитой.

В обмотках трансформаторов могут возникать к.з. между фазами, одной или двух фаз на землю, между витками одной фазы и замыкания между обмотками. На вводах трансформаторов, ошиновок также могут возникать замыкания между фазами и на землю. Кроме указанных повреждений, в условиях эксплуатации могут происходить нарушение нормальных режимов работы трансформаторов, к которым относятся:

- прохождение через трансформатор сверхтоков при повреждении других элементов, связанных с трансформатором;
- перегрузка;
- выделение из масла горючих газов;
- понижение уровня масла, повышение его температуры.

Из вышеизложенного следует, что защита трансформаторов должна удовлетворять следующим условиям:

1. Отключать трансформатор от всех источников питания при его повреждении.
2. Отключить трансформатор от поврежденной части установки при прохождении через него сверхтоков в случаях повреждения шин или другого оборудования, связанного с трансформатором, а также при повреждении смежного оборудования и отказа защиты на нем или выключателя.

3. Подавать предупредительный сигнал дежурному подстанции при перегрузке трансформатора, выделении газа из масла, понижении уровня масла, повышении его температуры.

В соответствии с назначением для защиты трансформаторов при их повреждениях и сигнализации о нарушении нормальных режимов работы применяются следующие типы защит [4]:

1. Дифференциальная защита – для защиты при повреждении обмоток, вводов, ошиновки трансформаторов.

2. Токовая отсечка мгновенного действия для защиты трансформатора при повреждении его ошиновки, вводов и части обмоток со стороны источника питания.

3. Газовая защита для защиты при повреждениях внутри бака трансформатора, сопровождающихся выделением газа, а также при понижении уровня масла.

4. Максимальная токовая защита, максимальная направленная защита или МНЗ с пуском минимального напряжения для защиты от сверхтоков, проходящих через трансформатор при повреждении, как самого трансформатора, так и элементов, связанных с ним.

5. Защита от перегрузки, действующая на сигнал на подстанции с обслуживающим персоналом и на отключение - без обслуживающего персонала.

В отдельных случаях на трансформаторах устанавливаются другие виды защит.

Контроль состояния трансформатора носит комплексный характер. Обычно он начинается еще на стадии изготовления. Именно тогда проверяют качество изоляционных и активных материалов, отдельных деталей и узлов, качество сборки. Готовый трансформатор подвергают комплексной проверке на испытательной станции завода-изготовителя, оснащенной всеми необходимыми средствами диагностики. При транспортировке трансформатора осуществляют контроль его герметичности, а в некоторых случаях и контроль за воздействием механических усилий. Прибывший трансформатор также требует контроля его состояния, как при хранении, так и в процессе монтажа в соответствии с руководящими техническими материалами "Трансформаторы силовые. Транспортирование, разгрузка, хранение, монтаж и ввод в эксплуатацию". После окончания монтажа перед вводом в эксплуатацию с целью диагностики состояния трансформатор испытывается в объеме, предусмотренном «Правилами устройств электроустановок» (ПУЭ) [5].

Однако наибольший объем работ по проверке состояния трансформаторов осуществляется в процессе эксплуатации. В дальнейшем рассмотрим применяемые способы контроля состояния обмоток трансформатора и особо остановимся на том, как по полученным результатам оценить состояние трансформатора и сделать вывод о возможности его последующей эксплуатации.

Основными эксплуатационными требованиями являются электрическая и механическая прочность и нагревостойкость как обмоток, так и других частей, и всего трансформатора в целом. Изоляция обмоток и других частей трансформатора должна выдерживать без повреждений коммутационные и атмосферные перенапряжения, которые могут возникнуть в сети, где трансформатор будет работать. Механическая прочность обмоток должна гарантировать их от механических деформаций и повреждений при токах КЗ., многократно превышающих номинальный рабочий ток трансформатора. Нагрев обмоток и других частей от потерь, возникающих в трансформаторе при нормальной работе

и КЗ ограниченной длительности, не должен приводить изоляцию обмоток и других частей, а также масло трансформатора к тепловому износу или разрушению в сроки более короткие, чем обычный срок службы трансформатора (20-25 лет). Общие эксплуатационные требования, предъявляемые к трансформаторам их обмоткам, регламентированы соответствующими стандартами ГОСТ на силовые трансформаторы общего назначения, на различные специальные трансформаторы, на электрические испытания изоляции трансформаторов.

Полный перечень параметров состояния трансформатора, которые могут контролироваться в режиме диагностического мониторинга и которые рекомендуют контролировать различные нормативные документы, превышает сотню. При внимательном рассмотрении каждого из них приходится соглашаться с необходимостью контроля данного параметра, так как он при определенных условиях будет полезен для оценки технического состояния трансформатора. Но, с другой стороны, понятно, что простое следование таким рекомендациям приводит к созданию громоздких и дорогих систем мониторинга, экономическая эффективность которых в большинстве случаев как минимум сомнительна.

Актуальность контроля и оценки технического состояния тех или иных функциональных подсистем, из которых состоит трансформатор, может изменяться в зависимости от обстоятельств. Необходимость контроля отдельных систем трансформатора располагается в следующем порядке. (табл.1)

Изоляционная система трансформатора. Для корректной оценки ее состояния необходимо контролировать параметры масла, растворенные газы, состояние вводов, состояние твердой изоляции обмотки трансформатора.

Система охлаждения трансформатора. Для оценки эффективности ее работы контролируется температурный режим работы трансформатора, техническое состояние маслонасосов и иногда - состояние вентиляторов обдува.

Контроль целостности конструкции трансформатора. Эффективным средством оценки состояния конструкции трансформатора является вибрационный контроль хотя бы на поверхности бака трансформатора.

Контроль состояния дополнительных систем трансформатора. В основном это касается необходимости контроля работоспособности устройства РПН.

Контроль переходных и аварийных процессов в трансформаторе и в энергосистеме. Контроль этих параметров помогает в ряде случаев лучше оценить остаточный ресурс трансформатора.

Параметрический контроль режимов эксплуатации трансформатора, контроль токов и напряжений. Это позволяет оценивать нагрузку трансформаторов, но в большинстве случаев приносит мало пользы при оценке технического состояния трансформатора.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Таблица 1.

Порядок диагностирования трансформатора

Контролируемый параметр	Используемый метод контроля
Состояние главной изоляции	Измерение и анализ частичных разрядов в изоляции трансформатора. Выявление типа дефекта - Корреляция интенсивности частичных разрядов и типа выявленного дефекта с данными хроматографии
Контроль состояния вводов	Контроль токов проводимости вводов. Отключение трансформатора при возникновении предаварийной ситуации - Контроль частичных разрядов
Контроль сопротивления обмоток фаз	- Измерение и анализ тока в нейтрали трансформатора. - Выявление несимметрии сопротивлении обмоток, возникающей при нарушении формы обмоток после воздействия токов к.з.
Контроль работы системы охлаждения	Контроль разницы температур верхней и нижней части бака трансформатора с учетом нагрузки и температуры окружающей среды

На основе эксплуатационных данных можно выделить следующие причины потери работоспособности трансформатора:

- повышенный нагрев трансформатора, вызванный нагревом металлических частей, вихревыми потоками, перегрузками и перенасыщением магнитопровода, их старением;
 - нарушение изоляции между элементами конструкции;
 - увлажнение изоляции;
 - наличие газа в масле в процессе газовыделения в местах повышенного нагрева или повышенной напряженности электрического поля (частичные разряды);
- старение изоляции под действием катализаторов и электрического поля;
- частичные деформации обмоток при КЗ;
 - витковые замыкания обмоток;
 - увлажнение вводов;
 - частичные разряды в изоляции.

В результате многолетней эксплуатации трансформаторов установлены типичные виды повреждений основных элементов трансформатора. Статистика показывает, что две трети повреждений возникают в результате неудовлетворительного ремонта, монтажа и эксплуатации, а одна треть – вследствие заводских дефектов.

Для магнитопровода при наличии дефекта в листовой изоляции возможен перегрев, вызываемый вихревыми токами. В случае конденсации влаги на поверхности масла она попадает на верхнее ярмо, проникает между пластинами активной стали в виде водомасляной эмульсии, разрушает межлистовую изоляцию и вызывает коррозию стали. По этим причинам ухудшается состояние масла, то есть понижается температура вспышки, повышается кислотность и увеличиваются потери холостого хода.

ОБСУЖДЕНИЕ

Наиболее характерным видом повреждений в обмотках трансформатора является витковое замыкание. Причиной его может быть разрушение изоляции из-за старения вследствие её естественного износа или из-за продолжительных перегрузок трансформатора при недостаточном охлаждении обмоток. Нарушение изоляции витков может произойти так же вследствие механических повреждений при КЗ.

На основании рассмотренных результатов инфракрасной диагностики электрооборудования и обнаруженных после дополнительных проверок дефектов можно сделать следующее заключение: все выявленные тепловизионной диагностикой дефекты подтверждаются другими методами диагностики, в частности, хроматографическим анализом растворенных газов в масле, измерением интенсивности частичных разрядов в изоляции электрооборудования и др.

ВЫВОДЫ

Тепловизионная диагностика электрооборудования является одним из основных направлений развития системы технической диагностики, которая обеспечивает возможность контроля теплового состояния оборудования без вывода его из работы, выявления дефектов на самой ранней стадии развития, сокращения затрат на техническое обследование за счет прогнозирования сроков и объемов ремонтных работ.

Литература:

1. **Алексеев Б.А.** *Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов.* [Текст] / М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. - 216 с.: ил.
2. **Владимиров Ю.В.** Исследование силовых трансформаторов и разработка мероприятий по повышению эффективности их диагностирования. [Текст]/ Иваново, 2005г.
3. **Быстрицкий Г.Ф.** *Энергосиловое оборудование промышленных предприятий.* [Текст] / М. "Академия" 2003. Стр.320
4. **Могузов В.Ф.** Обслуживание силовых трансформаторов. [Текст] / - М.: Энергоатомиздат, 1991 – 192 с.
5. Правила устройства электроустановок. [Текст] /. – 6-е изд., испр. и доп. – М.: Энергосервис, Госэнергонадзор, 2000. – 608 с. – ISBN 5-900835-32-4.