

ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИКИ СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Сидельников Л.Г.

ООО «ТестСервис», г. Пермь

В практике контроля технического состояния объектов электроэнергетики, широко используются такие понятия, как экспертиза, диагностика, мониторинг, тренд и испытания. Каждое из понятий строго не определено и часто трактуется по-разному. Поэтому, для конкретизации вкладываемого смысла этих понятий в данной работе, предварительно приводятся принятые определения перечисленных видов контроля силового электрооборудования.

Испытание. Под испытаниями понимается совокупность измерений, в течение ограниченного времени, с целью, определения величин определенных параметров объекта. Предельные значения параметров объектов электроэнергетики в основном нормированы и перечислены в нормативных документах, либо в инструкциях заводов-изготовителей. Результаты испытаний не предполагают, аналитических исследований и являются контрольными величинами. К числу таких параметров относятся:

- сопротивление изоляции;
- ток утечки;
- тангенс угла диэлектрических потерь;
- омическое сопротивление цепей;
- уровень вибраций;
- параметры схем замещения электрических машин и т.д.

В пределах паспортного ресурса эксплуатации контроль параметров объектов по результатам испытаний, как правило, достаточен. Вместе с тем, испытания не позволяют определить динамику развивающихся дефектов, которые на момент испытаний пока не оказывают существенного влияния на работоспособность объектов электроэнергетики. Несомненным достоинством испытаний является то, что, они узаконены нормативными документами России.

Тренд. Тренд, это периодический контроль величин параметров объектов, например посредством производства испытаний. Наличие тренда позволяет выполнить анализ путем сравнения последовательных результатов измерений. Таким образом, с помощью тренда реализуется дискретный контроль динамики процессов в объектах электроэнергетики. Тренд также узаконен нормативными документами путем нормирования периодичности производства испытаний. Недостатком тренда по результатам испытаний является невозможность проследить изменение параметров внутри временного интервала между испытаниями. Поэтому аварийные ситуации при этом методе контроля не исключены.

Мониторинг. Мониторинг, это непрерывный или дискретно-непрерывный контроль технического состояния объектов. Мониторинг предполагает наличие стационарной системы контроля. Технически мониторинг реализуется с помощью стационарных средств измерения, телемеханических линий и центра сбора и анализа информации. Все средства мониторинга требует систематического контроля и технического обслуживания. При отсутствии телемеханических линий мониторинг становится трендом, но более дорогим в сравнении с ним. Мониторинг возможен, при наличии у предприятия специалистов способных выполнять анализ результатов измерений.

В большинстве случаев, из-за отсутствия специалистов по анализу результатов измерений, средствами мониторинга осуществляется только контроль предельных значений параметров. При этом возможны два вида систем: индикаторный и релейный. Индикаторные системы сигнализируют центру сбора и анализа информации о превышении тех или иных значений контролируемых параметров. Релейные системы сигнализируют и выполняют ряд коммутационных функций. В том и другом случае при

срабатывании системы необходимо привлечение специалистов для анализа возникшей нештатной ситуации.

Широкие теоретические возможности мониторинга, по определению, создают ложное представление об его реальных возможностях. Мониторинг воспринимается как система, которая без участия человека «может все». Реально таких систем пока не существует, за исключением ряда узкоспециализированных и дорогостоящих систем. Применение таких систем технически и экономически обосновано только на особо ответственных объектах.

Диагностика. Диагностика, это разовое или периодическое обследование технического состояния объектов энергетики (тренд). Известно, что развитие дефектов (проблемных мест) до факта аварии в электрооборудовании во времени происходит достаточно медленно. Это время может составлять от нескольких месяцев до нескольких лет. Поэтому в большинстве случаев необходимости в мониторинге нет.

В отличие от перечисленных методов контроля, диагностика является наукоемкой технологией. Для ее реализации необходима интеллектуальная дорогостоящая аппаратура и специалисты высокого уровня, как правило, имеющие ученые степени. Поэтому реально диагностика возможна только силами специализированных предприятий. Диагностика выполняется не разрушающими методами контроля и позволяет оценить техническое состояние объектов по совокупности параметров, определить динамику развития процессов, остаточный ресурс работы с имеющимися дефектами. Тренд на основании результатов диагностики исключает аварийные ситуации в период между диагностическими исследованиями.

Из-за высокой стоимости диагностической аппаратуры диагностика осуществляется, как правило, с помощью мобильных лабораторий. При наличии на предприятиях собственного диагностического оборудования и отсутствии необходимых для этого специалистов возможно сотрудничество с аналитическими подразделениями сторонних специализированных предприятий. Недостатком диагностики является в основном отсутствие утвержденных общероссийских нормативных документов. Сама по себе диагностика является новым для России научно-техническим направлением и потому находится в стадии развития. Несомненно, как инновационное направление, диагностика это будущее контроля технического состояния объектов электроэнергетики.

Экспертиза. Казалось бы, нет необходимости давать определение понятию экспертиза. Однако это не так. Программное и математическое обеспечение диагностической аппаратуры условно можно разделить на два уровня. Первым из них реализуется сам метод, например метод частичных разрядов, метод возвратного напряжения и т.д. В зависимости от степени реализации аппаратура может быть индикаторной, релейной или измерительной. Измерительная аппаратура позволяет не только измерять тот или иной параметр, но и нормировать измеряемые величины по степени опасности дефектов в объекте. Такая аппаратура стоит дорого и часто имеет уникальные технические возможности.

Второй уровень программного и математического обеспечения предназначен для анализа получаемых результатов, поэтому имеет критерии оценки, базу данных, алгоритмы анализа. Алгоритмы анализа часто многофакториальные, наукоемкие и являются результатами научных работ. Тем не менее, без участия специалистов высокого уровня такая аппаратура не способна автоматически «сделать» правильное заключение о техническом состоянии объекта. Поэтому эти специалисты называются экспертами, а выполняемая ими работа экспертизой.

Сегодня существует достаточно много различных обучающих фирм, которые после некоторого курса обучения выдают специалистам документы на право ведения экспертных работ. Но эксперты ли это? Не секрет, что в стране пруд пруди инженеров с дипломами. И в тоже время все предприятия и фирмы испытывают острый недостаток настоящих инженеров. Почему это так, - это отдельный разговор. В нашем случае нужно

понимать, что специалист-эксперт, это «штучный товар». И таких специалистов в стране единицы.

На основании чего специалист-эксперт делает заключение. Если это научно-обоснованные выводы, то это эксперт высочайшего класса. Если заключение формулируется на основании большого практического опыта, эрудиции, интуиции, либо других одному ему (эксперту) известных внутренних ощущений, то это, образно выражаясь, эксперт-знахарь в хорошем смысле слова. Таких экспертов большинство.

Учитывая, что второй уровень математического и программного обеспечения диагностической аппаратуры еще далек от совершенства, то технические эксперты, поневоле, это эксперты-знахари. Однако это достояние любой страны. Диагностика находится на этапе развития, и только этот вид контроля дает основание для развития математического и программного обеспечения второго уровня.

Характерной особенностью состояния основных фондов электроэнергетики в настоящее время является большое количество силового оборудования с исчерпанным нормативным ресурсом эксплуатации. В среднем по России это оборудование составляет (60-80)%. Вместе с тем, действительное техническое состояние оборудования, его физический износ и остаточный ресурс эксплуатации в основном не определены. Поэтому имеющееся сегодня мнение о большом физическом износе силового электрооборудования являются, по крайней мере, не обоснованным. Обновление основных фондов электроэнергетики, как правило, не превышает (3-5)% в год. Совершенно очевидно, что замена такого количества электрооборудования с исчерпанным ресурсом эксплуатации на новое оборудование в короткие сроки экономически и технически является не выполнимой задачей.

Кроме того, обновление основных фондов электроэнергетики, как показывает практика, вовсе не гарантирует решение проблемы по причине отсутствия в России эффективной системы по контролю качества монтажа вновь вводимых таких объектов и часто из-за низкого качества комплектующих или работ по монтажу. При этом следует иметь в виду, что нормативный ресурс эксплуатации в основном вдвое меньше, чем проектный ресурс, определенный разработчиком того или иного вида силового электрооборудования. Так, например, нормативный ресурс эксплуатации кабельных линий с бумажно-масляной изоляцией 25 лет, а проектный ресурс 50 лет. Это обстоятельство является основанием для выполнения экспертизы оборудования на предмет продления дальнейшего его срока службы с последующим параллельным плановым перевооружением электроэнергетики.

Методы контроля технического состояния объектов силовой энергетики делятся на контроль по предельным значениям параметров, определяемым ПТЭ, инструкциями, нормативами и контроль по текущим значениям параметров, на основании, которого выполняется диагностика технического состояния, прогнозирование остаточного ресурса, определение степени опасности дефектов и выработка экспертного заключения. Контроль по предельным значениям параметров не позволяет оценить качество текущего технического состояние объектов, а также динамику развития дефектов, но чаще всего используется в системах защиты и мониторинга. Динамику процесса развития дефектов и качество технического состояния можно определить только диагностическими методами. Диагностика является многофакторной задачей.

Учитывая большое количество объектов энергетики с исчерпанным нормативным ресурсом, применение методов контроля по предельным значениям часто становится не допустимым. Например, испытания изоляции повышенным напряжением в этом случае может привести к пробое изоляции или существенному уменьшению остаточного ресурса эксплуатации, рис.1. Кривые изображенные пунктиром соответствуют измерениям частичных разрядов (ЧР) до испытаний повышенным напряжением по фазам, а зависимости изображенные сплошными линиями получены после испытаний повышенным напряжением в течение 10 минут при напряжении 90 кВ, рис.1.

Испытания выполнялись на кабельной линии с изоляцией из сшитого полиэтилена типа АПвВнг 1x185/50-35. При этом уровень (ЧР) после испытаний повышенным напряжением существенно возрос, особенно при относительно не больших напряжениях. Измерения выполнялись с помощью аппаратуры OWTS производства фирмы SebaKMT, Германия.

Так как диагностика осуществляется не разрушающими методами, то всегда может предшествовать типовым испытаниям в соответствии с ПТЭ. Результаты диагностики позволяют, обосновано сосредоточить ресурсы на обслуживание объектов силовой энергетики.

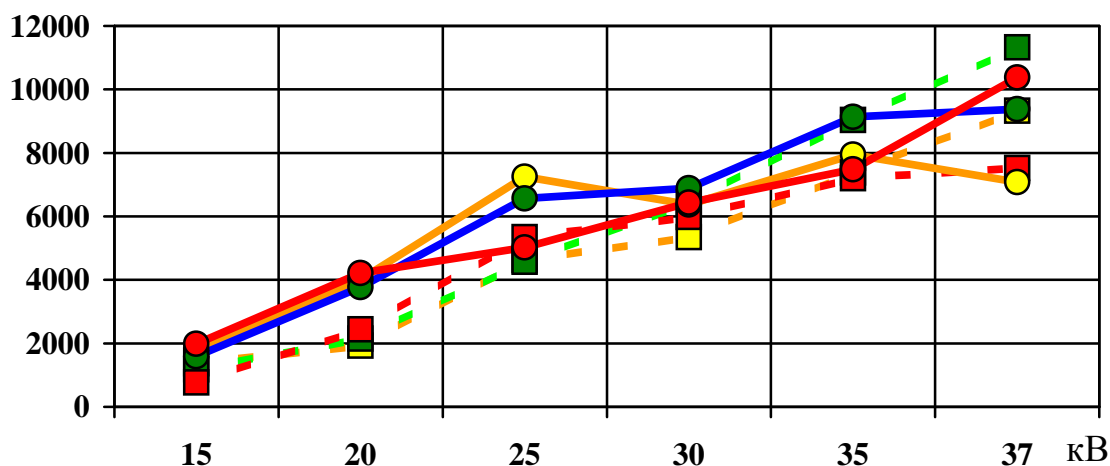


Рис. 1. Влияние испытаний повышенным напряжением на величину частичных разрядов в изоляции

Решение задачи, можно, рассматривать по следующим основным направлениям:

- определение действительного технического состояния объектов силовой электроэнергетики диагностическими методами;
- анализ и определение количества объектов подлежащих замене (или ремонту);
- восстановление эксплуатируемого оборудования до требуемых параметров;
- планирование развития силовой электроэнергетики и реализация этих планов.

Все виды силового электрооборудования, по времени ввода в эксплуатацию и текущему техническому состоянию можно разделить:

- на вновь вводимое в эксплуатацию оборудование, подлежащее диагностике технического состояния и испытаниям;
- со сроком эксплуатации меньше нормативного ресурса, где также требуется анализ технического состояния;
- со сроком эксплуатации больше нормативного ресурса;
- оборудование, находящееся в аварийном состоянии.

Важным моментом при налаживании системы обслуживания по техническому состоянию является создание базы данных. Наличие базы данных технического состояния объектов позволяет автоматизировать процесс технического обслуживания и иметь оперативную информацию по каждому объекту.

В настоящее время существует два основных подхода по формированию базы данных. Первый из них, наиболее распространенный в России и за рубежом, основан на создании базы типовых или наиболее встречающихся дефектов в электрооборудовании с указанием характерных для каждого случая признаков. Например, для изоляции это могут быть графические представления разрядов и их основные характеристики (частотный спектр, амплитуда, количество за единицу времени и т.п.). Здесь же приводится информация о возможном в этом случае дефекте или дефектах (информацию получают путем препарирования места дефекта и изучения визуально или с помощью

микроскопа). В последствии производится сравнение очередного дефекта с этой базой и делается соответствующий вывод.

Второй подход формирования базы данных основан на определении закономерностей характеристик дефектов, с использованием аппарата теории вероятности и математической статистики. Получаемая в этом случае база данных содержит текущее техническое состояние объектов энергетики, с указанием степени опасности дефектов и рекомендаций по последующим действиям. Кроме этого такая база содержит критерии оценки характеристик, рекомендуемое время устранения дефектов и технологию экспертного заключения, а также необходимые затраты на устранение этих дефектов.

Из сравнения двух этих подходов очевидно, что в первом из них требуются большие материальные и временные затраты на создание базы. Кроме того, большое разнообразие возможных дефектов снижает быстродействие системы технического обслуживания, а заключение о возможной причине дефекта страдает не точностью и часто приводит к ошибкам. Однако изучение каждого дефекта дает ценную информацию по совершенствованию технологий монтажа, качеству работ технического обслуживания и в конечном итоге сокращению аварийных ситуаций.

Естественно, что второй подход по сравнению с первым подходом формирования базы данных отличается высокой наукоемкостью и требует для реализации специалистов высокого класса. Недостатком подхода является отсутствие информации о причинах дефектов. Вместе с тем, в процессе устранения дефекта ремонтный персонал имеет возможность его визуального изучения и, следовательно, получения информации о причинах его возникновения. Для исключения этих причин в каждом случае необходимо осуществление ряда организационных и технических мероприятий, что является обязательным для фирм занимающихся техническим обслуживанием и ремонтом электрооборудования. Соблюдение этого правила также в конечном итоге ведет к сокращению числа неконтролируемых аварий.

Несомненным достоинством второго подхода является значительно более высокая точность заключения о техническом состоянии объекта, а также сокращение количества возможных экспертных ошибок. Второй подход формирования базы позволяет оценить ситуацию во времени и позволяет построить систему обслуживания энергетики по техническому состоянию. Учитывая высокую наукоемкость технологии второго подхода эту работу целесообразно выполнять специализированным фирмам.

Следует отметить, что надежда фирм эксплуатирующих силовую энергетику на математическое и программное обеспечение приобретаемых приборов и оборудования в настоящее время лишена основания. Как правило, в диагностической аппаратуре производства отечественных и зарубежных фирм хорошо реализован (не всегда) только сам метод диагностики, а программное обеспечение для анализа получаемых результатов отсутствует. Отдельные виды диагностической аппаратуры имеют в той или иной мере программное обеспечение для анализа результатов измерений, но отличаются при этом высокой стоимостью и часто субъективностью решений.

Выполнение непосредственно самих диагностических испытаний электрооборудования требует достаточно много времени и часто связано с выводом электрооборудования из работы. Например, диагностика силовых кабельных линий оборудованием производства фирмы SebaKMT выполняется со снятием рабочего напряжения. Чистое технологическое время, необходимое для выполнения диагностики методом частичных разрядов с двух сторон линии составляет около 90 минут. Время необходимое для испытаний методом возвратного напряжения около трех часов. Т.е. чистое технологическое время составляет около 4,5 часов. К этому времени нужно добавить время на оформление наряда, осуществление допуска к объекту, время на переезд лаборатории от одного конца линии к другому. Таким образом, в течение восьмичасовой смены возможна диагностика только одной кабельной линии.

В течение всего времени диагностических испытаний линия выключена из работы, что создает проблемы для заказчика. Время диагностических испытаний можно существенно сократить при наличии двух датчиков частичных разрядов, работающих синхронно и установленных с двух сторон линии. Тогда время испытаний может быть уменьшено вдвое, что позволит выполнять диагностику двух линий в течение восьмичасовой смены.

Иногда для производства диагностических испытаний не требуется вывода оборудования из работы. Так для производства диагностики силовых трансформаторов в ООО «ТестСервис» разработан комплекс измерений не требующий вывода объекта из работы в 90% случаев. Но при этом не выполняется диагностика непосредственно вводов и РПН. Однако информация о техническом состоянии этих узлов трансформатора в объеме результатов имеется и при проводимом комплексе измерений. Если какой-либо параметр трансформатора превышает установленные предельные значения, и требуются дополнительные измерения, то дальнейшие работы выполняются со снятием рабочего напряжения. В ряде случаев необходима разборка трансформатора.

Очень часто в выполнении всего комплекса испытаний трансформатора в соответствии с ПТЭ нет необходимости. Например, измерение омического сопротивления обмоток при отсутствии ремонта этих обмоток. К числу таких измерений относится определение коэффициента абсорбции, тангенса дельта, которые сильно зависят от температуры и ряд других измерений. Большинство из типовых испытаний может быть заменено диагностическими испытаниями. Но такая замена не определена нормативными документами.

Совершенно очевидно, что перечень типовых испытаний и нормативов аккумулировали в себе многолетний опыт и знания специалистов высокого класса. Но эти знания рассчитаны на грамотных энергетиков предприятий и не являются догмой, лишь руководством к действию. Не секрет, что уровень подготовки, знаний и опыта энергетиков большинства предприятий желает лучшего. Поэтому большинство из них придерживаются, образно говоря, буквы закона, т.е. имеющихся нормативных документов. Это обстоятельство создает серьезные затруднения в работе специалистов-диагностов. Вместе с тем, опираясь на утвержденные нормативные документы, эти энергетики с легкостью подвергают испытаниям повышенным напряжением изоляцию электрооборудования с истощенным ресурсом эксплуатации, либо требуют проведение всего комплекса испытаний перечисленного в нормативных документах, отрицая новые достижения в диагностике.

В настоящее время специалисты, занимающиеся диагностикой электрооборудования, пользуются аппаратурой как отечественного, так и зарубежного производства. Как правило, аппаратура занесена в реестр Госстандарта России. Но к какому классу отнести эту аппаратуру? Это измерительные приборы или индикаторы? Если это измерительные приборы, то они должны подвергаться метрологическому контролю. И только в этом случае результаты измерений можно нормировать. Но в большинстве случаев приборы для диагностических целей нельзя отнести к измерительным приборам, ввиду отсутствия технологий метрологической поверки. Следовательно, вопрос нормирования измерений отпадает сам по себе.

В качестве примера. Аппаратура OWTS, для измерения частичных разрядов, CD и CDS, предназначенная для измерения возвратного напряжения внесены в реестр Госстандарта. Но метрологической поверке в OWTS Госстандартом рекомендован только калибратор частичных разрядов. Методика поверки включает в себя только измерение амплитуды разряда, в то время как калибраторы различных фирм имеют разные характеристики. Поверка остальных узлов прибора, включая схему датчика измерения разрядов, не предусмотрена.

С целью сравнительной поверки в ООО «ТестСервис» были протестированы приборы зарубежного производства CD и CDS, а также прибор фирмы «Виброцентр» типа

АС-Tester того же назначения. Испытания контролировались с помощью поверенного цифрового вольтметра. Испытания показали различие в измерениях возвратного напряжения до 60%, причем минимальной погрешностью (0,5%) обладал прибор фирмы «Виброцентр». Отсюда вывод, что абсолютные значения измеренных перечисленными приборами величин, не могут использоваться для нормирования. Приемлемыми можно считать относительные значения только некоторых из измеряемых величин.

Таким образом, к числу основных проблем в диагностике силового электрооборудования следует отнести:

- отсутствие утвержденных на федеральном уровне технологий, нормативов и стандартов для диагностики объектов электроэнергетики;
- низкий уровень квалификации инженеров-энергетиков, эксплуатирующих силовое электрооборудование;
- отсутствие аналитических методик и программного обеспечения для анализа результатов диагностики;
- слабое метрологическое обеспечение диагностической аппаратуры.

К числу дополнительных проблем относятся отсутствие по регионам квалифицированных метрологических предприятий, способных выполнять поверку и ремонт диагностической аппаратуры, включая аппаратуру зарубежного производства.