

ЭФФЕКТИВНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ. ПРОБЛЕМА ПЕРИОДИЧНОСТИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

*В. Подлесный, руководитель направления диагностики высоковольтного оборудования
ООО «Квадро Электрик»*

Одной из основных задач электроэнергетики в целом, и кабельных сетей в частности, сегодня является повышение надежности электропитания потребителей. Повсеместно происходят модернизации существующих сетей, вводится в эксплуатацию современное оборудование, но проблема аварийности до сих пор не решена. Аварии продолжают происходить даже на кабелях, успешно прошедших планово-профилактические испытания. Все это говорит о несовершенности существующей системы предупреждения аварий кабельных линий.

В наше время все большее распространение получают диагностические методы контроля изоляции электрооборудования. Данные методы позволяют оценивать состояние изоляции и дают представление об остаточном ресурсе проверяемого электрооборудования, в отличие от регламентированных сейчас испытаний повышенным напряжением, по результатам которых невозможно гарантировать послеаварийную работу. Именно это утверждение и стоит более внимательного рассмотрения и углубленного изучения.

Конечно, неоспоримым плюсом любого диагностического метода является то, что при их применении на изоляцию электрооборудования оказывается гораздо меньшее воздействие по сравнению с испытаниями повышенным напряжением. Так при испытаниях кабельных линий на них подается напряжение, превышающее номинальное до 6 раз. При диагностических испытаниях зачастую подается напряжение превышающее номинальное в 1,73 раза, а в ряде случаев подача повышенного напряжения вообще не требуется. Вторым же важным

достоинством диагностики, которое нельзя не упомянуть, является возможность локализации дефекта. Особенно важна данная возможность для протяженных кабельных линий, когда точно указывается место возможного пробоя, что значительно упрощает и удешевляет последующий ремонт. Современное оборудование позволяет производить локализацию дефектных мест с высокой точностью, около ± 2 м.

Помимо очевидных плюсов диагностические испытания, в том виде, в котором они существуют на данный момент, имеют и ряд недостатков. Так, например, в настоящее время существует множество различных диагностических методов, но каждый из них в отдельности не может определить всех возможных дефектов электрооборудования. Так же для локализации и определения характера дефекта практически во всех случаях необходимо вывести электрооборудование из работы, что не всегда экономически оправдано и удобно. Самым же главным недостатком является то, что даже диагностические испытания, как и испытания повышенным напряжением, не могут в полной степени гарантировать безаварийную работу в междиagnostический период.

В настоящее время во всем мире практически полностью отсутствует нормативная база по диагностике электрооборудования, и в частности кабельных линий, в течение эксплуатационного периода. Существующие стандарты, разработанные отдельными организациями, указывают в рекомендациях периодичность испытаний, равную одному или пяти годам. Данная периодичность не имеет никакого научного обоснования, и говоря простым язы-

ком «взята с потолка». Дело в том, что основным и единственным фактором выбора периодичности диагностических испытаний, для их действительной эффективности, должно являться время развития возможного дефекта. Время развития действительно опасного дефекта, который впоследствии может привести к аварии, гораздо меньше предлагаемой периодичности диагностических испытаний. Связано это в первую очередь с тем, что подавляющее большинство дефектов образуется в результате механических и неэксплуатационных воздействий (аварий, перенапряжений). Те же дефекты, что образуются во время эксплуатации и обоснованы «старением» изоляции, развиваются очень медленно и их возможно обнаружить, а так же вовремя принять меры по устранению, но, стоит повториться, их количество на порядки меньше, чем быстроразвивающихся опасных дефектов. Так же даже опасные дефекты могут проявляться не постоянно, а периодически, в результате коммутаций, аварийных переключений, перенапряжений и пр. Такие дефекты могут не обнаружиться в короткий период диагностических испытаний (средняя продолжительность диагностических испытаний от 15 до 60 минут).

Единственным действительно эффективным подходом к диагностике электрооборудования можно считать применение непрерывных диагностических методов, основанных на диагностических измерениях под рабочим напряжением. При такой реализации возможно обнаружить дефекты непосредственно в начальный период развития и принять меры по их устранению до аварии.

По сути, все дефекты кабельных линий делятся на две группы: образовавшиеся при производстве и полученные в процессе эксплуатации. Первые обусловлены в первую очередь газовыми, масляными или прочими включениями в изоляцию. Основным признаком нахождения в изоляции такого рода дефектов являются частичные разряды, представляющие собой емкость включения в изоляцию. В последнее время именно методы диагностики по определению характеристик частичных разрядов приобрели наибольшую популярность и максимально интенсивное развитие. Основную же часть дефектов образовавшихся при эксплуатации составляют механические повреждения, полученные при прокладке кабелей, а так же при последующем внешнем воздействии на них (движения грунтов). Помимо механических воздействий, разрушающее действие на изоляцию оказывают локальные повышения температур, которые приводят к разрушению изоля-

ционных свойств диэлектрического промежутка изоляции. Такие дефекты не всегда сопровождаются появлением в изоляции частичных разрядов, и ответственны для их выявления необходимы другие диагностические методы, такие как определение тангенса диэлектрических потерь, тепловизионный контроль и пр.

Вторым важным вопросом является выбор метода диагностики, так как в отдельности ни один из методов не может обеспечить обнаружения всех возникающих в изоляции электрооборудования дефектов. Для наибольшей эффективности необходимо применять либо комбинацию методов, либо разработку и применение абсолютно нового метода, позволяющего обнаруживать достаточное количество возникающих дефектов. Первый подход на первый взгляд выглядит выигрышной, так как можно применить уже наработанные методики. Но применение такого метода на практике окажется гораздо весьма затруднительным, ввиду применения более сложных схем и использования большего количества оборудования, что в итоге приведет к значительному удорожанию диагностических мероприятий и снизит их материальную эффективность. Второй же потребует значительных затрат лишь на первом этапе, когда будет производиться разработка и оптимизация метода диагностики, так как полученный в результате метод должен быть материально эффективен. Причем в данном случае не обязательно подразумевать разработку нового оборудования! Уже сейчас активно ведется работа по оптимизации и повышению эффективности диагностических испытаний на основе осциллографирования происходящих в кабельных системах процессов. Такой метод потребует минимума затрат на диагностическое оборудование, но для его реализации и внедрения требуется глубокое изучение происходящих в результате возникновения дефекта в изоляции кабельной линии процессов.

К сожалению ни один непрерывный метод не сможет обеспечить достаточной точности при локализации дефекта кабельной линии по ее длине, для данной процедуры необходимо отключение линии и вывод ее из работы на время проведения испытаний. Таким образом наиболее эффективная система диагностики электрооборудования и кабельных линий в частности состоит из двух основных составляющих: непрерывный контроль под рабочим напряжением и локализация с определением типа дефекта при диагностических испытаниях с отключением по факту определения развивающегося со временем дефекта изоляции на первом этапе.

■ другие вопросы

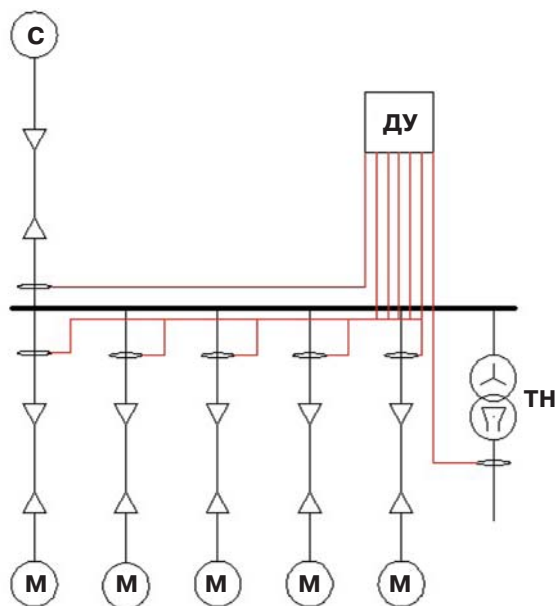


Рис. 1. Схема диагностической системы под рабочим напряжением

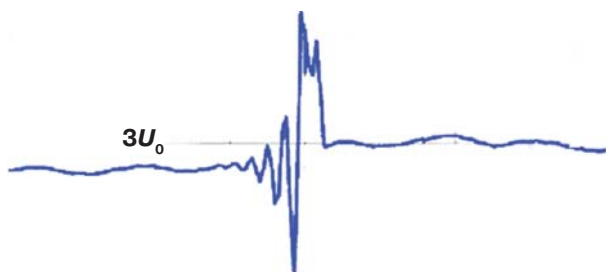


Рис. 2. Импульс дефекта, снятый в трансформаторе напряжения (сигнал $3U_0$). По наличию такого импульса ДУ начинает запись осциллограмм во внутреннюю память



Рис. 3. Отражение импульса на фазе кабеля, содержащего обнаруженный дефект

Рассмотрим пример системы диагностики на примере схемы, приведенной на рис. 1. Диагностическое устройство (ДУ) снимает данные со всех входящих и отходящих от секции кабельных линий, а так же напряжение $3U_0$ с трансформатора напряжения. Любой образовавшийся дефект будет искажать форму напряжения, внося свои гармонические составляющие, что отразится и на сигнале $3U_0$ (рис. 2), так как сигналы любого ЧР будут находиться непосредственно в контуре нулевой последовательности. Соответственно по импульсу зафиксированному в сетях заземления можно судить о наличии на одном из присоединений дефекта, а в последующем при анализе снятых с кабельных линий осциллограмм определить линию и фазу возникновения дефекта (рис. 3).

Для упрощения ДУ и удешевления его, возможно задать функцию записи осциллограмм лишь по факту импульса в цепях заземления. Таким образом в памяти устройства будут сохранены лишь отрезки времени требующие рассмотрения и анализа, что значительно упростит процесс диагностики и потребует гораздо меньшее пространство в памяти устройства.

Как упомянуто ранее дефекты изоляции вводят свои гармонические составляющие в снимаемый ДУ сигнал, таким образом определять дефект можно просто по анализу снятых осциллограмм, причем чем более развит дефект, тем более будет искажена снимаемая характеристика (рис. 4, 5).

Основным плюсом такого подхода к непрерывной диагностике кабельных линий является то, что для ее реализации практически не потребуется установка дополнительных датчиков, так как все контакты ДУ можно присоединить к уже существующим вторичным цепям. Специалисты в области РЗА так же весьма заинтересованы в системах диагностики, которые смогут значительно повысить эффективность работы электросетей и сократить количество аварий. Так специалистами Санкт-Петербургского Государственного Политехнического Университета разработан и запатентован прибор позволяющий комбинировать защиту от замыканий на землю, а именно этот вид коротких замыканий является наиболее часто происходящим, с устройствами контроля сопротивления изоляции.

Возможно использование и других методов диагностики, на данный момент существуют системы on-line диагностики в непрерывном режиме уровня частичных разрядов в изоляции электрооборудования, но они не позволяют определить значительное количество типов дефектов. Возможно так

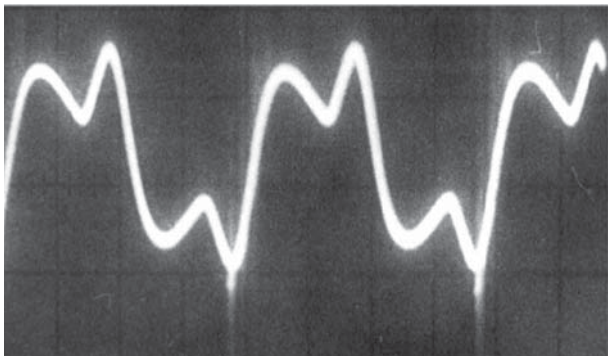


Рис. 4. Ток в изоляции при развитом местном дефекте

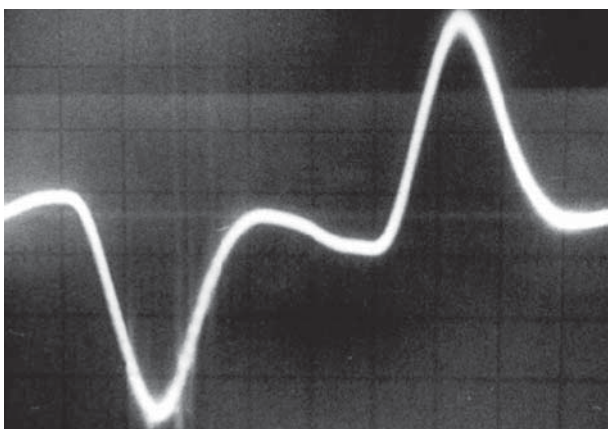


Рис. 5. Ток в изоляции при сильно развитом местном дефекте.

же измерение тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$), но при всем относительном многообразии методов его измерения под рабочим напряжением, большинство из них работает только на бумаге. Но все же измерение $\text{tg}\delta$ позволяет определить большее количество дефектов, чем измерение уровня частичных разрядов, правда процедура определения несколько сложнее. Дело в том, что $\text{tg}\delta$ — величина интегральная, пропорциональная мощности потерь в изоляции, и соответственно учитывает состояние всей изоляции на контролируемом объекте, соответственно при наличии дефекта на самой ранней стадии развития изменение тангенса будет очень мало и сложно контролируемо. Однако при наличии дефекта будет иметь место изменение величины $\text{tg}\delta$ при изменении напряжения, тогда как при отсутствии дефектов его величина будет оставаться неизменной.

Какой бы ни была система диагностики, для работы с ней необходим квалифицированный персо-

нал. В случае периодических испытаний специалисты должны обладать должным опытом и набором теоретических знаний для точного определения типа найденного дефекта и точной оценки остаточного ресурса оборудования. Известен ряд случаев, когда по результатам диагностических испытаний производился вывод электрооборудования из работы, но в результате проверок никаких повреждений не было обнаружено, что свидетельствует о не совершенности используемого метода и неправильной трактовке полученных результатов. В случае непрерывного диагностического контроля необходимо обучение обслуживающего персонала по работе с анализом данных, снятых ДУ. Необходимо, чтобы первую оценку опасности дефекта могли выдать специалисты, работающие на диагностируемом объекте, и уже по их вердикту производился выезд специализированной диагностической лаборатории.

Выводы

- Существующая система предупреждения аварийных ситуаций не обеспечивает должной надежности электрических сетей. В первую очередь это связано с отсутствием нормативной базы, регламентирующей меры по предупреждению аварий в виде применения диагностических методов.
- Периодические диагностические испытания, так же как и планово-профилактические испытания повышенным напряжением, не могут в полной степени гарантировать безаварийную работу в междиagnostический период, ввиду того, что периодичность на данный момент не учитывает времени развития дефектов изоляции.
- Двухступенчатая система диагностики, состоящая из непрерывного диагностического контроля и диагностических испытаний по результатам обнаружения дефекта изоляции, позволит значительно сократить количество аварий электрооборудования, и кабельных линий в частности, а так же сократить расходы на ремонт.
- Необходима разработка новых непрерывных методов диагностики под рабочим напряжением, позволяющих определять максимально возможное количество дефектов на самых ранних стадиях их развития.
- Существующие методы диагностики, в том виде, в котором они представлены на рынке, не могут гарантировать определения всех возможных дефектов изоляции. Поэтому при их использовании необходима комбинация нескольких методов, для повышения качества проведенной диагностики.

■ другие вопросы

- Необходима организация обучения диагностическим методам персонала, отвечающего за эксплуатацию и ремонт кабельных линий.
- Предложенная в статье система диагностики при утверждении и отражении в нормативных документах могла бы полностью заменить периодические испытания повышенным напряжением в процессе эксплуатации. При переходе с испытаний на диагностику станет возможным заранее планировать ремонтные работы и не подвергать изоляцию воздействию повышенных напряжений при испытаниях, что может негативно сказаться на ее свойствах и ускорить в последствии развитие имеющегося дефекта. Такая система позволит достичь максимальной эффективности, как со стороны надежности снабжения электрической энергией потребителей, так и со стороны затрат на обслуживание оборудования и устранение последствий аварий с электрических сетях.

Литература:

1. Поляков В.С. «Частичные разряды — основной диагностирующий параметр системы непрерывного контроля», Сборник ПЭИПК № 34. Материалы международного научно-технического семинара «Методы и средства оценки энергетического оборудования» — СПб.: ПЭИПК, 2011. — С.107–122.
2. «Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. Выпуск 32», СПб.: ПЭИПК, 2009. — 249 с.
3. Соловьев Ю.В., Таджибаев А.И. «Неразрушающие методы оценки технического состояния кабелей из сшитого полиэтилена», «Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. Выпуск 32», СПб.: ПЭИПК, 2009. — 249 с.
4. Ванин В.К. «Средства релейной защиты в сетях 6–10 кВ: проблемы развития и способы их решения // Новости электротехники. — № 2(8). — 2001 г.