

МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

А.Ю. Бугаев *, А.Г. Сошинов*, Т.В. Копейкина *

* Камышинский технологический институт

(филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Волгоградский государственный технический университет»
Россия, Камышин, kopeikina.tania@yandex.ru

Аннотация. Предложены и описаны, варианты мониторинга технического состояния высоковольтных кабельных линий. Описаны основные варианты дефектов в кабелях и муфтах. Дано заключение о преимуществах непрерывного мониторинга, над периодическим тестированием.

Ключевые слова: мониторинг, периодическая диагностика, дефект муфт, эксплуатация, изоляция, аварийность работы.

MONITORING OF TECHNICAL STATE OF HIGH-VOLTAGE CABLE LINES

Y.A. Bugaev*, A.G. Soshinov*, T.V. Kopeikina*

*Kamyshin technological Institute

(branch) **Federal state budgetary** educational institution of higher education
"Volgograd state technical University"

Russia, Kamyshin, kopeikina.tania@yandex.ru

Abstract. "Proposed and describes options for monitoring the technical condition of high voltage cable lines. Describes the main options of defects in cables and splices. Given the conclusion about the advantages of continuous monitoring over periodic testirovanie.

Keywords: monitoring, periodic diagnostics, defect couplings, exploitation, isolation, failure rate.

Не многие знают, что периодические проверки, такие как проверка частичного разряда, могут оставить оборудование в состоянии, о котором, фактически, ничего неизвестно. За период времени после предыдущей проверки очень быстро могут образоваться дефекты изоляции и износ.

Эти дефекты часто не обнаруживаются традиционными автономными проверками, и, тем не менее, традиционно, онлайн-овые и автономные испытания частичного разряда, выполнялись на регулярной основе один-два раза в год

При создании современных систем электроснабжения с использованием высоковольтных кабельных линий все чаще предпочтение отдается кабелям с изоляцией из сшитого полиэтилена – СПЭ, международное обозначение таких кабелей «XLPE» (CrossLinked PolyEthylene).

Основным эксплуатационным отличием кабелей с СПЭ изоляцией от маслonaполненных высоковольтных кабелей с изоляцией бумага – масло является то, что большинство возникающих в них дефектов, являющихся опасными, развиваются за сравнительно краткий период времени, от нескольких месяцев, до нескольких дней. В результате периодические испытания кабельных линий в режиме «off-line» с выводом из работы, проводимые через достаточно длительные интервалы времени, от года и более, обычно эффективные для маслonaполненных кабелей, при использовании кабельных линий с СПЭ изоляцией теряют смысл.

Проведение периодических диагностические испытания кабельных линий с СПЭ изоляцией не обеспечивает необходимого уровня надежности электроснабжения потребителей. Такие испытания оправдывают себя только при вводе кабельных линий в эксплуатацию, и после проведения ремонтных работ.

Снижение аварийности работы кабельных линий возможно только за счет внедрения в эксплуатацию систем непрерывного мониторинга, которые могут

контролировать состояние изоляции кабельных линий в режиме реального времени. Только такие системы могут своевременно выявлять быстро развивающиеся дефекты на самых ранних стадиях, тем самым оперативно предотвращать возможные аварийные ситуации с высоковольтными кабельными линиями.

Более дешевым вариантом контроля является использование систем периодического мониторинга состояния кабельных линий, в которых измерения параметров производится также на работающей линии в режиме «on-line», но не непрерывно, а через определенные интервалы времени. Поэтому такой мониторинг называется периодическим.

При проведении периодического мониторинга обязательно должно выполняться условие, что интервал времени между проведением замеров должен быть, минимум, в два – три раза меньше стандартного времени развития дефекта, от момента его возникновения до достижения критического уровня. Только в этом случае сводится до минимума возможность пропуска быстро развивающихся опасных дефектов.

Для обеспечения эффективной и безаварийной эксплуатации высоковольтных кабельных линий предпочтительными являются следующие пять диагностических методов и способов, применение которых возможно и обоснованно в системах непрерывного и периодического мониторинга технического состояния КЛ:

- Распределенный температурный мониторинг высоковольтной кабельной линии, который позволяет контролировать продольный профиль температуры кабельной линии с разрешением до одного метра. Такая подробная информация дает возможность обслуживающему персоналу контролировать условия эксплуатации всей кабельной линии, ее рабочую температуру, а также выявлять дефектные зоны линии с повышенной температурой.

- Контроль наличия дефектов в изоляции концевых и соединительных муфт по частичным разрядам. Больше половины (по некоторым источникам до 80%) всех случаев возникновения дефектов в высоковольтных кабельных линиях происходит именно в этих элементах кабельных линий. Обычно возникновение этих дефектов обусловлено недостаточно качественной работой персонала при выполнении работ при монтаже муфт. Дефекты монтажа муфт проявляются или сразу же при вводе линии в эксплуатацию, или через некоторый интервал времени работы, и всегда сопровождаются появлением частичных разрядов в изоляции (до 95% случаев дефектов). Существенно реже дефекты в муфтах сопровождаются повышением температуры муфты (в среднем в 20 – 30% случаев).

Поэтому применение методов контроля частичных разрядов для контроля состояния муфт наиболее обоснованно.

- Диагностика наличия дефектов в изоляции самого высоковольтного кабеля.

Дефекты в кабеле встречаются значительно реже, по сравнению с дефектами в муфтах. Появлению дефектов предшествует или повреждение оболочки кабеля, или не герметичность монтажа муфты, приводящие к проникновению влаги в изоляцию кабеля.

Именно влага чаще всего является причиной повреждения главной изоляции высоковольтных кабелей, производственные дефекты изоляции кабеля хотя и встречаются на практике, но очень редко.

- Определение типа и степени развития дефекта в кабельной линии, как в муфтах, так и в самом кабеле. Большое влияние на стратегию управления эксплуатацией кабельной линии с выявленными дефектами оказывает наличие

информации о типе возникшего дефекта и степени его развития. Знание этой информации дает возможность персоналу правильно оценивать время остаточной эксплуатации кабельной линии, заранее планировать время и оптимальный объем необходимых ремонтных воздействий.

- Максимально точная локализация места возникновения дефекта в кабельной линии.

Эта информация наиболее полезна при проведении ремонтов подземных кабельных линий, где наибольшую трудоемкость может составлять проведение подготовительных работ, связанных с организацией доступа к месту проведения работ по устранению дефекта.

Реализации этих диагностических возможностей систем мониторинга КЛ возможно только при комплексном использовании трех взаимодополняющих методов контроля состояния кабельной линии под рабочим напряжением. Эти три метода физически независимы друг от друга, но при совместном использовании дают наиболее высокую диагностическую эффективность.

Это:

- Метод контроля и мониторинга технического состояния кабельной линии на основе непрерывного измерения продольного профиля температуры кабельной линии с использованием встроенных оптических линий.

- Метод оперативного контроля и мониторинга технического состояния кабельной линии на основе измерения и анализа частичных разрядов в изоляции муфт и кабеля.

- Метод контроля емкостных токов утечки в экранах кабельных линий, позволяющий контролировать наличие повреждений оболочки кабельных линий.

Каждый из этих трех методов контроля состояния высоковольтных кабельных линий под рабочим напряжением имеет свои достоинства, недостатки, и предназначен для решения различных диагностических задач.

Оптоволоконная система мониторинга предназначена для проведения измерения температуры кабельной линии в процессе эксплуатации. Достоинством использования оптоволоконных систем является возможность измерения температуры кабельной линии в режиме реального времени, с высокой точностью, до долей градуса, и с детализацией распределения температуры по длине кабельной линии до 1 метра. Это позволяет непрерывно и подробно контролировать температурный режим работы всей линии.

Система мониторинга профиля температуры кабельной линии включает в себя распределенный датчик измерения температуры (оптическое волокно), в идеальном случае располагаемый внутри контролируемого кабеля, и прибор - регистратор для измерения профиля температуры. Оптическое волокно при изменении температуры меняет свои свойства. При облучении его импульсом лазера в нем возбуждаются фотоны, которые генерируют свои импульсы, отличные по частоте от частоты возбуждающего лазера, меньшие по частоте на величину, связанную с текущей температурой оптического волокна.

Лазерный источник измерительного прибора посылает в оптическое волокно импульс, который возбуждает колебания во всех участках контролируемого кабеля, и именно эти колебания поступают обратно в приемник -анализатор спектра. Полученный, условно говоря,отраженный сигнал, в зависимости от относительного времени прихода импульса (относительно первичного импульса от источника), описывает температурное состояние определенного участка контролируемого кабеля.

Параметры отраженного оптического сигнала зависят от температуры оптического волокна в каждой точке контролируемой кабельной линии, что и дает возможность контролировать профиль распределения температуры вдоль линии.

Поскольку температура кабельной линии не может изменяться очень быстро, в худшем случае время изменения температуры составляет несколько минут, то один прибор – регистратор обычно используется для контроля температуры нескольких кабельных линий (фаз одной кабельной линии). Для этого в систему мониторинга может добавляться оптический мультиплексор – переключатель, последовательно коммутирующий к одному входу прибора несколько оптических измерительных линий. Использование одного мультиплексора, вместо использования нескольких приборов – регистраторов оптических сигналов, позволяет существенно снизить общую стоимость системы температурного контроля.

Параметры системы температурного мониторинга в значительной мере зависят от типа используемого оптического волокна. При применении многомодового оптического волокна получается наилучшее пространственное разрешение, и лучшая температурная точность. Использование одномодового оптического волокна позволяет контролировать кабельные линии значительно большей длины, но при этом пространственное разрешение и точность измерения температуры в несколько раз хуже. Для систем контроля температуры кабельных линий с одномодовым оптическим волокном требуются более дорогие лазерные источники.

Система температурного мониторинга, в основном, предназначена для контроля технологических режимов работы кабельной линии, так как точное знание текущей температуры кабеля позволяет оперативно оптимизировать нагрузочную способность линии.

В качестве средства диагностики система температурного мониторинга на основе оптического волокна недостаточно информативна. Это связано с тем, что возникновение и развитие дефектов в высоковольтной изоляции, до самого момента дугового пробоя, очень редко сопровождается заметным повышением температуры.

Все основные дефекты в СПЭ изоляции при своем возникновении носят локальный характер, поэтому процессы разрушения в этих дефектных зонах приводят только к сокращению эффективного слоя изоляции в муфтах, или в самом кабеле. Развитие дефектов в высоковольтной СПЭ изоляции завершается не тепловой деградацией и пробоем, как это имеет место в низковольтных кабелях, а полевым (высоковольтным) пробоем. Это происходит в тот момент времени, когда расширение зоны дефекта локально сократит изоляционный промежуток между жилой и экраном до недопустимого значения. При этом температура дефектной зоны в изоляции в процессе развития дефекта практически не изменяется, а только скачкообразно повышается непосредственно в сам момент дугового пробоя и выхода кабельной линии из строя.

Положительным аспектом использования систем мониторинга, предназначенных для распределенного контроля температуры кабельной линии, является возможность точного определения места пробоя после аварийного выхода кабельной линии из строя.

На итоговом графике распределения температуры аварийной кабельной линии после зоны пробоя полностью отсутствовать информация о температуре, так как в этом месте, совместно с силовым кабелем, произойдет разрушение и оптического волокна распределенного датчика температур. Механическое повреждение оболочки кабельной линии, приводящее к нарушению герметичности, является очень опасным

дефектом. Опасность его заключается в том, что через зону повреждения в полость между оболочкой и основной изоляцией кабеля может поступать влага. Под действием электрического поля, как под действием насоса, влага начнет проникать в основную изоляцию кабеля. В результате в изоляции кабеля возникает специфический дефект, называемый в литературе «водяными деревьями». При таком дефекте вода создает разветвляющиеся каналы от поверхности слоя изоляции внутрь, в сторону жилы, напоминающие по форме дерево. В результате толщина эффективной изоляции кабеля начинает уменьшаться, и при достижении определенного минимума наступает фатальный пробой оставшегося слоя изоляции.

Самой большой сложностью при этом является то, что эффективных методов контроля появления и развития «водяных деревьев» в изоляции кабельных линий в режиме «on-line» нет, даже частичные разряды появляются при таком дефекте только на самом последнем этапе развития этого опасного дефекта, когда слой оставшейся изоляции становится критическим.

Единственным возможным способом контроля наличия повреждений внешней оболочки КЛ в режиме «on-line» является использование систем мониторинга емкостных токов утечки в экранах кабельных линий. Метод базируется на предположении, что появление дополнительной цепи утечки через дефект в оболочки кабеля может быть зафиксирован в виде уменьшения величины емкостного тока фазы на конце кабельной линии за счет эффекта шунтирования.

При использовании метода контроля емкостных токов утечки не следует забывать несколько важных допущений, принятых при оценке эффективности работы этого диагностического метода.

- Метод контроля емкостных токов позволяет контролировать не появление и развитие в основной изоляции кабельной линии опасного дефекта в виде «водяных деревьев», а только появление предпосылок к появлению этого дефекта – он контролирует появление возможности (!) для проникновения влаги к основной изоляции кабельной линии. Сам дефект при этом может развиваться, а может и не развиваться.

- Появление дефектов в оболочке кабельной линии может привести к изменению токов утечки, а может и не привести. Иными словами говоря, дефект оболочки кабельной линии может быть, но диагностироваться он будет не во всех практических случаях. Если зона дефекта будет увлажнена, то дефект будет диагностирован. Дефект оболочки кабельной линии в «сухой» зоне диагностироваться не будет, т. к. не будет цепей для протекания шунтирующих токов утечки.

Большой проблемой при организации мониторинга емкостных токов утечки является то, в экранах кабельных линий кроме информативных токов утечки протекают наведенные токи промышленной частоты. Величина этих токов определяется токовой нагрузкой линии, особенностями взаимной прокладки фазных кабелей друг относительно друга, наличием пунктов суперпозиции экранов. Для устранения влияния этих токов необходимо проводить сравнительные измерения только в режиме холостого хода линии, или же использовать скомпенсированную балансную схему контроля трехфазных токов в экранах фаз контролируемой кабельной линии. В этой схеме наведенные фазные токи взаимно уничтожаются.

Несмотря на все перечисленные проблемы метод контроля емкостных токов утечки широко применяется на практике благодаря своей простоте, а также потому,

что других диагностических методов для контроля целостности оболочки кабельной линии, работающих в режиме «on-line», нет.

Непрерывный мониторинг частичного разряда ЧР обладает рядом преимуществ над периодическим тестированием ЧР.

1. Периодическое онлайнное тестирование ЧР может пропустить важные последствия ЧР, так как они изменяются со временем. Непрерывный онлайнный мониторинг устраняет присущие интервальному тестированию недостатки.

2. Закономерности действий ЧР являются одним из наиболее важных параметров прогнозирующей диагностики. Периодические тесты не в состоянии предоставить достаточно информации для диагностики, основанной на закономерностях.

3. Онлайнный мониторинг предоставляет более точную информацию, чем автономное тестирование, поскольку условия, в которых проводится такое тестирование, могут очень сильно отличаться от реальных операционных условий.

4. Непрерывный онлайнный мониторинг эффективно снижает трудозатраты. Кроме того, данные по ЧР, сохраняемые в инструменте тестирования, могут быть получены в любое время, и в любом месте, имеющем современные средства связи.

Библиографический список

1. Сви П.М. Контроль высоковольтной изоляции методом частичных разрядов. М, 2001.
2. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: Справочное пособие // А. С. Клюев, А. Т. Лебедев, С. А. Клюев и др. Под ред. А.С. Ключева. М, 2013.
3. Байбородин Ю. В. Основы лазерной техники. М, 2000.
4. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. Шестое издание, переработанное и дополненное, Москва: Энергоатомиздат, 1987. 648 с.