

СИЛОВЫЕ КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 35 кВ. НЕРАЗРУШАЮЩАЯ ДИАГНОСТИКА И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

В настоящее время нормальная работа систем электроснабжения промышленных предприятий, транспорта, сельского, коммунального и других отраслей хозяйства невозможна без надежной работы силовых кабельных линий (КЛ) низкого и среднего классов напряжения.

Для обеспечения надежной работы силовых КЛ в настоящее время в России применяется система планово-профилактических испытаний, при которой кабели периодически подвергаются испытаниям постоянным напряжением достаточно высокого уровня (в 4+6 раз превышающим номинальное напряжение КЛ) с измерением токов утечки. Однако практика показывает, что эти испытания даже в случае их успешности не только не гарантируют безаварийную последующую работу КЛ, но и во многих случаях приводят к сокращению срока их службы. Особенно опасны такие испытания для КЛ с длительными сроками эксплуатации или с очень старой изоляцией. Кроме того, испытания повышенным постоянным напряжением силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ-кабели), которые находят все более широкое применение в России, не только практически бесполезны, так как сшитый полиэтилен обладает высокой электрической прочностью и малыми токами утечки, но и оказывают негативное воздействие на полиэтиленовую изоляцию.

Применительно к силовым кабелям с изоляцией из сшитого полиэтилена гораздо более эффективным и экономичным является щадящий метод испытаний напряжением сверхнизкой частоты 0,1 Гц, кото-

рое по величине не превышает более чем в три раза номинальное напряжение КЛ. Испытания при низких частотах со сменой полярности позволяют выявлять дефекты в изоляции без формирования объемных зарядов в структуре полиэтиленовой изоляции, в отличие от того, как это происходит при приложении постоянного напряжения. Поэтому за рубежом кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена испытываются исключительно напряжением сверхнизкой частоты. При испытаниях силовых кабелей с бумажной пропитанной изоляцией применение этого метода позволяет в значительной степени уменьшить испытательное напряжение по сравнению с испытаниями постоянным напряжением.

Лидерами в разработке метода испытаний напряжением сверхнизкой частоты, а также установок для проведения испытаний силовых КЛ в условиях эксплуатации можно считать немецкие фирмы. Предложенный ими к использованию принцип колебаний при напряжении косинусоидально-прямоугольной формы в соединении с повторным использованием сохраненной в кабеле энергии обуславливает, по сравнению с другими методами испытаний, незначительный вес установок, а также низкий расход энергии при одновременно высокой допустимой емкости испытуемого объекта. Сейчас в Германии выпускается серия испытательных установок, предназначенных для проведения испытаний напряжением сверхнизкой частоты 0,1 Гц силовых кабелей номинальным напряжением от 6 до 35 кВ включительно.

Для повышения надежности электроснабжения гораздо более предпочтительным является применение неразрушающих

методов диагностики силовых КЛ. Использование неразрушающих методов диагностики позволяет не только получать информацию о текущем состоянии изоляции КЛ, не травмируя ее, но и рационально и обоснованно планировать сроки проведения ремонтов КЛ или замены кабелей с выработанным ресурсом изоляции.

В последние годы ведутся интенсивные исследования с целью разработки и внедрения эффективных неразрушающих методов диагностики силовых КЛ низкого и среднего классов напряжения в условиях эксплуатации. Наибольшие успехи в этом направлении достигнуты в Германии, США, Японии и ряде других стран. К настоящему времени на основе применения современных технологий созданы достаточно компактные системы и приборы для неразрушающей диагностики силовых КЛ, которые могут использоваться либо как переносные системы, либо могут быть встроены в передвижные кабельные лаборатории.

Из разработанных методов можно выделить следующие неразрушающие методы диагностики силовых КЛ напряжением до 35 кВ, которые широко используются за рубежом:

- метод измерения и локализации частичных разрядов в кабельных линиях;
- метод измерения и анализа возвратного напряжения в изоляции силовых кабелей;
- метод измерения тока релаксации в изоляции СПЭ-кабелей;
- метод измерения диэлектрических характеристик изоляции кабелей;
- метод импульсной рефлектометрии для предварительной локализации низкоомных повреждений в силовых КЛ и импульсно-



дуговой метод для предварительной локализации высокоомных повреждений в КЛ (с использованием рефлектометров и устройств стабилизации дуги);

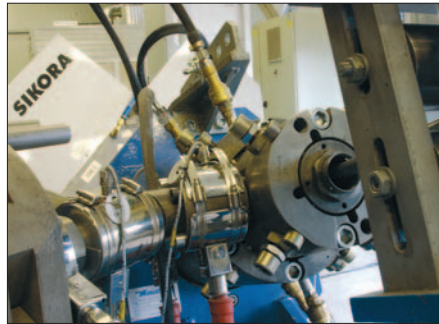
- метод контроля целостности оболочки силовых кабелей и определения места неисправности в ней.

Разработанные за рубежом методы и соответствующее оборудование ориентированы, главным образом, на проведение испытаний и диагностики кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, которые преимущественно используются в распределительных кабельных сетях зарубежных стран.

Применительно к силовым кабелям с бумажной пропитанной изоляцией, которые остаются основным типом кабелей в кабельных сетях России напряжением до 35 кВ включительно, наиболее эффективными методами, которые могут использоваться для неразрушающей диагностики, являются метод измерения и локализации частичных разрядов и метод измерения и анализа возвратного напряжения в изоляции кабелей.

частичных разрядов (ЧР) и повышенных температур.

Физические процессы в изоляции силовых кабелей под воздействием ЧР (т. е. микроразрядов, возникающих в местах неоднородности изоляции при приложении напряжения) к настоящему времени изучены достаточно хорошо. Разработаны и различные методы измерения характеристик ЧР в КЛ, которые реализованы в отечественных и зарубежных приборах и установках различных конструкций.



В наиболее современных и эффективных диагностических системах для оценки состояния изоляции всех типов кабелей напряжением до 35 кВ при помощи контроля характеристик ЧР реализован метод измерения ЧР осциллирующим затухающим напряжением. Он позволяет определять величину и место расположения ЧР, количество ЧР в локальных местах КЛ, на-

пряжение возникновения и гашения ЧР, а кроме того, величину тангенса угла диэлектрических потерь в изоляции, емкости и ряда других величин. По совокупности этих параметров может быть сделано обоснованное заключение о техническом состоянии и проблемных местах диагностируемой КЛ.

Диагностика с помощью подобных систем выполняется на отсоединенной с двух сторон КЛ. Перед началом диагностирования производится калибровка системы с целью уточнения длины КЛ и определения ожидаемой амплитуды ЧР. После калибровки каждая фаза КЛ последовательно заряжается в течение нескольких секунд постоянным напряжением до выбранной величины, не превышающей амплитуду номинального линейного напряжения КЛ. После зарядки фаза КЛ с помощью электронного переключателя подключается через резонансную катушку к заземленному экрану кабеля. В процессе разрядки кабеля возникают затухающие синусоидальные колебания, частота которых зависит от емкости диагностируемого объекта. Бегущая волна инициирует ЧР в изоляции КЛ, которые фиксируются и сохраняются в памяти компьютера для последующей обработки с целью определения амплитуды и местоположения ЧР по длине КЛ. Так как амплитуда испытательного напряжения является затухающей, то можно точно определить напря-

ИЗМЕРЕНИЕ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В СИЛОВЫХ КЛ

В силовых КЛ напряжением до 35 кВ включительно основными причинами снижения электрической прочности изоляции в процессе длительной эксплуатации (т. е. старения изоляции) являются воздействия



ЭНЕРГИЯ НОВОГО, СИЛА ТРАДИЦИИ

ELECTROFF

**КОМПЛЕКСНЫЕ ПОСТАВКИ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**



Электрика от А до Я



Силовые разъемы для всей планеты



Прочность на века

- Низковольтное оборудование
- Промышленное и силовое оборудование
- Системы автоматизации производства
- Электроустановочные изделия
- Промышленные силовые разъемы и комплектные устройства
- Кабель-каналы, лотки и трубы для монтажа
- Электромонтажное и распределительное оборудование
- Кабельно-проводниковая продукция

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СБОРКА ЭЛЕКТРОЩИТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

РЕШЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ








Москва, 1-й Дорожный проезд, дом 6.
www.electroff.ru, E-mail: info@electroff.ru

780 00 38

жение, при котором возникают и погасают ЧР. Колебательное напряжение прикладывается к объекту в течение нескольких сот миллисекунд и поэтому не нагружает кабель и не повреждает его. Локализация ЧР в КЛ осуществляется с использованием метода рефлектометрии по результатам регистрации двух импульсов от одного и того же ЧР — первичного импульса и импульса, отраженного от конца КЛ.

При обработке записанных в памяти компьютера данных диагностики выделяются и учитываются первичные и отраженные импульсы ЧР на фоне возможных помех и шумов. При этом амплитуда ЧР определяется по первичному импульсу, а расстояние до места возникновения ЧР в КЛ определяется по промежутку времени между первичным импульсом и его отражением.

Обработанные и учтенные импульсы представляются на карте дефектных мест КЛ как для всех трех фаз КЛ, так и для каждой фазы КЛ в отдельности. Карта дефектных мест может быть преобразована в гистограмму распределения количества ЧР по длине КЛ как для всех трех фаз КЛ, так и для каждой фазы КЛ в отдельности.

Одним из наиболее сложных этапов при проведении диагностики с использованием описываемых систем является оценка результатов диагностики и формулирование заключения по результатам измерения и локализации ЧР. В силу новизны этой методики в России пока отсутствуют общепризнанные нормативы и критерии оценки состояния КЛ по результатам измерения характеристик ЧР с использованием системы OWTS.

Необходимо отметить, что в ряде стран Европы в фирмах, успешно эксплуатирующих такие системы в течение достаточно длительного времени, уже разработаны критерии оценки результатов диагностики по характеристикам ЧР. Так, например, в Германии при диагностировании КЛ с использованием данных систем предельным значением принят уровень ЧР, равный 1 000 пКл, а в Италии — 1 200 пКл. При превышении указанных значений КЛ подлежит ремонту. Применение этих критериев в России представляется не целесообразным, так как для России характерна эксплуатация силовых КЛ до их предельного состояния. При этом уровень ЧР в КЛ нередко достигает 5 000 — 40 000 пКл и более.

В России на основе большого количества практических результатов диагностики КЛ с использованием описываемых систем были предложены нормативные показатели для оценки состояния силовых КЛ напряжением 6 — 35 кВ с разными типами изоляции (с бумажной пропитанной изоляцией, с изоляцией из сшитого полиэтилена, с поливинилхлоридной изоляцией) [2]. Оценка технического состояния

КЛ производится по наихудшему из трех диагностируемых параметров: максимальная величина ЧР в локальном месте, напряжение возникновения ЧР (амплитудное значение), среднее количество ЧР локальном месте за один цикл измерений. Например, для КЛ 6 кВ с бумажной пропитанной изоляцией при максимальной величине ЧР в локальном месте до 1 200 пКл КЛ подлежит повторной диагностике через 5 лет, от 1 200 до 7 500 пКл — в течение года, от 7 500 до 15 000 пКл — подлежит ремонту в течение года с последующей диагностикой, свыше 15 000 пКл КЛ эксплуатации не подлежит. Соответственно этой градации по срокам диагностирования и ремонта КЛ разработаны и нормативы по величине напряжения возникновения ЧР и по среднему количеству ЧР в локальном месте.

ИЗМЕРЕНИЕ И АНАЛИЗ ВОЗВРАТНОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КЛ

Этот метод основан на измерении и анализе зависимостей от времени тока зарядки в процессе зарядки емкости кабеля постоянным напряжением небольшой величины, не оказывающей влияние на изоляцию кабеля и муфт, и восстанавливающегося (возвратного) напряжения в изоляции кабеля после его кратковременной разрядки. Эти зависимости характеризуют состояние, степень старения и содержания влаги в изоляции КЛ [3].

Лидерами в разработке этого метода и установок для проведения диагностики методом анализа возвратного напряжения в условиях эксплуатации являются немецкие фирмы. Ими были созданы системы, предназначенные для диагностики КЛ напряжением до 35 кВ как с полиэтиленовой, так и с бумажной пропитанной изоляцией. Такие диагностические системы состоят из высоковольтного блока (включающего генератор высокого постоянного напряжения, высоковольтный выключатель и разрядное устройство), блока управления и высоковольтных соединительных кабелей. Системы подключаются к портативному компьютеру через интерфейс для управления процессом диагностики, записи, обработки и архивирования результатов измерения.

К подобным системам можно отнести возможность проводить диагностику одновременно на трех фазах (трехканальная измерительная аппаратура) и упрощенную процедуру подключения кабеля к диагностической системе. Достоинством является также то, что с помощью таких систем можно определить предпробивное состояние изоляции линии при напряжениях ниже номинальных. Недостатком метода диагностики с использованием этих систем является то, что они позволяют оценивать только общее состояние изоляции всей КЛ, а не отдельных ее участков.

При проведении диагностики результаты измерений и анализа возвратного напряжения для каждой фазы КЛ и для каждого цикла измерений (двукратный цикл измерений при зарядном напряжении 1 и 2 кВ для КЛ с бумажной пропитанной изоляцией или четырехкратный цикл измерений для КЛ с изоляцией из сшитого полиэтилена при зарядном напряжении 0,5U₀, 1U₀, 1,5U₀, 2U₀) отображаются на мониторе компьютера в цифровом, графическом и табличном виде.

Это следующие характеристики: время зарядки и величина тока зарядки (в фазе зарядки), диаграмма изменения тока зарядки в зависимости от времени зарядки, время измерения возвратного напряжения и величина возвратного напряжения (в фазе измерения возвратного напряжения), диаграмма изменения возвратного напряжения в зависимости от времени измерения (кривая возвратного напряжения), максимальная величина возвратного напряжения и время достижения максимальной величины возвратного напряжения, скорость нарастания (начальная крутизна кривой) возвратного напряжения, коэффициенты нелинейности по соотношению измеренных величин при разных значениях зарядного напряжения, диаграмма изменения коэффициентов нелинейности в зависимости от времени измерения.

Результатом диагностирования КЛ с использованием приводимых в статье систем является протокол измерений и анализа возвратного напряжения для каждой фазы диагностируемой КЛ, который автоматически составляется системами, записывается в память портативного компьютера и может быть распечатан на принтере.

Оценка состояния изоляции кабелей основывается на пороговых величинах, т. е. оценивается нелинейное соотношение возвратного напряжения при разных величинах зарядного напряжения, а также форма кривой возвратного напряжения.

Интегральная оценка степени увлажненности бумажной пропитанной изоляции кабелей производится по соотношению скоростей нарастания возвратного напряжения при двух величинах зарядного напряжения (2 кВ и 1 кВ). Интегральная оценка степени старения бумажной пропитанной изоляции, сопровождающегося деструкцией бумажной изоляции и одновременного увеличения содержания влаги в изоляции, производится по форме кривой возвратного напряжения, характеризующейся такими измеряемыми параметрами, как максимальная величина возвратного напряжения, время ее достижения и скорость нарастания возвратного напряжения. Оценка состояния и степени увлажненности кабельных муфт производится по величине тока заряда после пика заряда (установившееся значение).

Для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена основным диагностическим фактором является величина коэффициента нелинейности, рассчитанная по соотношению максимальных величин возвратного напряжения при разных величинах зарядного напряжения.

Достоверность и эффективность оценок состояния и степени старения изоляции КЛ по результатам диагностики в условиях эксплуатации с использованием описываемых систем может быть повышена по мере накопления банка данных результатов измерений на КЛ с кабелями разных сроков и условий эксплуатации.

В последние годы в Европе были созданы также универсальные комбинированные системы для интегральной диагностики кабелей. Диагностика кабелей с бумажной пропитанной изоляцией производится методом измерения и анализа возвратного напряжения (RVM-анализ), а диагностика кабелей с полиэтиленовой изоляцией производится методом анализа изотермического тока релаксации (TRC-анализ).

Внедрение неразрушающих методов диагностики КЛ с использованием современного оборудования будет способствовать повышению надежности электроснабжения потребителей, а также позволит эффективнее планировать ремонт и замену КЛ по их фактическому техническому состоянию.

В современных условиях, когда достигнуты значительные успехи в области разработки эффективных неразрушающих методов диагностики силовых КЛ и соответствующего диагностического оборудования, переход к неразрушающей диагностике и ремонтно-техническому обслуживанию силовых КЛ по их техническому состоянию является актуальным и своевременным. Тем более, что возможность технического обслуживания и ремонта электрооборудования по результатам технического диагностирования заложена в последней редакции «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей», утвержденных Минэнерго России в 2003 г.

При переходе на систему технического обслуживания, контроля технического состояния и ремонта силовых КЛ по их техническому состоянию может быть получен существенный экономический эффект за счет снижения количества аварий на КЛ и, соответственно, затрат на их устранение, исключения затрат на проведение необоснованных ремонтов КЛ, повышения качества монтажных работ за счет проведения диагностики на КЛ после их ремонта или при вводе КЛ в эксплуатацию, продления срока эксплуатации КЛ с невыработанным ресурсом изоляции, рационального планирования действительно необходимых ремонтов КЛ в обоснованные сроки.

Своевременная и достоверная диагностика состояния изоляции силовых КЛ с использованием неразрушающих методов позволит отказаться от профилактических испытаний изоляции разрушающими методами, которые во многих случаях травмируют изоляцию и приводят к снижению остаточного ресурса изоляции силовых КЛ. Испытание изоляции силовых КЛ повышенным напряжением целесообразно проводить при вводе новых КЛ в эксплуатацию, после ремонта КЛ, а также при отсутствии возможности применения средств технической диагностики силовых КЛ неразрушающими методами.

И. Н. ПРИВАЛОВ, к. т. н., ведущий научный сотрудник НИИ постоянного тока (Санкт-Петербург)

Литература

1. Привалов И. Н. «Методы испытаний и диагностики силовых кабельных линий напряжением до 35 кВ». // «Известия НИИПТ», № 60, 2004 г.
2. Кустов А. «Существует ли в России диагностика силовых кабельных линий и электрооборудования и зачем она нужна». // «Энергетика и промышленность России», № 8 (72), 2006 г.
3. Канискин В. А., Коцур С. А., Привалов И. Н. «Кабели 10 кВ с бумажно-пропитанной изоляцией. Неразрушающий метод диагностики». // «Новости электротехники», № 5(35), 2005 г.

XVI международная специализированная выставка

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

19 – 22 мая 2009

Санкт-Петербург
Выставочный комплекс ЛЕНЭКСПО
Пав. 7, 8, 8А
В.О., Большой пр., 103

РЕСТЭК™ ВО «РЕСТЭК™»
 Тел.: (812) 303-8868
 energo@restec.ru
 www.restec.ru/power

ЛЕНЭКСПО С-Петербург
 Тел.: (812) 321-2630
 Smetan@mail.lenexpo.ru
 www.energetika.lenexpo.ru

Генеральные информационные спонсоры: **ЭНЕРГЕТИКА РОССИИ**, **RusCable.Ru**
 Информационный спонсор: **ЭНЕРГОНАДЗОР**
 Интернет-партнер: **INFO Line**