



«3i»

ПРИБОР ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ В ЯЧЕЙКАХ
КРУ И ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ
ПО ЧАСТИЧНЫМ РАЗРЯДАМ

Методические указания по применению прибора 3i

Дополнение к руководству по эксплуатации



г. ПЕРМЬ

Оглавление

1	Контроль технического состояния изоляции высоковольтного оборудования по частичным разрядам в рабочих режимах.....	3
1.1	Практические сложности измерения частичных разрядов в высоковольтном оборудовании.....	3
1.2	Особенности и нормирования технического состояния оборудования по параметрам частичных разрядов.....	4
1.3	Алгоритм выявления дефектов в изоляции и оценки технического состояния высоковольтного оборудования.....	5
2	Применение прибора Zi для контроля состояния высоковольтной изоляции.....	5
2.1	Контроль технического состояния изоляции ячеек КРУ.....	6
2.2	Контроль технического состояния изоляции высоковольтных кабельных линий ..	11

1 Контроль технического состояния изоляции высоковольтного оборудования по частичным разрядам в рабочих режимах

Надежность работы высоковольтного электротехнического оборудования в наибольшей степени зависит от технического состояния его изоляционной системы.

Широкое использование современных изоляционных материалов привело к тому, что дефекты в оборудовании могут возникать и развиваться до критического уровня достаточно быстро, иногда за месяцы, недели и даже дни. По этой причине проведение стандартных периодических испытаний изоляции, выполняемых на отключенном оборудовании по плану и сравнительно редко, например, раз в один или два года, уже не может надежно предотвращать возникновение аварийных режимов и отказов оборудования.

При эксплуатации высоковольтного оборудования максимально значимым становится проведение оперативного контроля состояния изоляционной системы работающего оборудования при помощи различных переносных приборов в режиме «онлайн», т. е. под рабочим напряжением, без вывода его из эксплуатации.

Эффективным и практически единственным способом контроля технического состояния изоляции высоковольтного электротехнического оборудования, который можно применять в рабочих режимах, является регистрация и анализ высокочастотных импульсов частичных разрядов, возникающих на локальных участках изоляционных промежутков, генерирующих разряды. Появление таких высокочастотных разрядных импульсов в процессе эксплуатации практически всегда предшествует последовательному разрушению и, в конечном итоге, к дуговому перекрытию всего изоляционного промежутка.

1.1 Практические сложности измерения частичных разрядов в высоковольтном оборудовании

Измерение высокочастотных импульсных разрядов от дефектных зон высоковольтной изоляции электротехнического оборудования различных типов является достаточно сложной технической и алгоритмической задачей.

Во-первых, на фоне высокого переменного рабочего напряжения промышленной частоты с уровнем в десятки и сотни киловольт необходимо надежно регистрировать высокочастотные импульсы частичных разрядов, амплитуда которых редко превышает единицы вольт. Это предъявляет жесткие требования к техническим параметрам используемых первичных датчиков и измерительного диагностического оборудования.

Во-вторых, в энергосистеме всегда присутствует высокий уровень электромагнитных помех, захватывающих весь частотный диапазон, в котором обычно производится регистрация высокочастотных импульсов от частичных разрядов. Это и различные преобразователи частоты, и результаты работы передатчиков промышленной связи и телевизионных передатчиков, сигналы GSM телефонии и т. д. В условиях эксплуатации уровень таких высокочастотных «шумовых» сигналов всегда достаточно высок, чаще всего по амплитуде он значительно, иногда он даже на несколько порядков, превышает амплитуду «информативных» частичных разрядов.

До тех пор, пока не будет проведена надежная и корректная отстройка от электромагнитных помех при помощи аппаратных и программных алгоритмов измерительного оборудования, достоверность метода контроля состояния изоляции по частичным разрядам может оказаться недопустимо низкой.

В-третьих, при проведении измерений любых параметров работающего высоковольтного оборудования на первый план всегда должны ставиться вопросы обеспечения безопасности диагностического персонала, проводящего эти работы. Применительно к процессу измерения частичных разрядов это максимально относится к выбору типов первичных датчиков, которые, желательно, не должны иметь прямого контакта с высоковольтной частью контролируемого электротехнического оборудования, или же должны измерять электромагнитное излучение дистанционно. Если все же датчик будет иметь непосредственный контакт с высоким напряжением, то для передачи информации от него к измерительному прибору желательно использовать современные беспроводные каналы связи.

1.2 Особенности нормирования технического состояния оборудования по параметрам частичных разрядов

Нормирование технического состояния высоковольтного оборудования на основе использования параметров частичных разрядов на практике является сложной и многофакторной проблемой, не имеющей однозначного решения.

Причина этого заключается в наличии целого ряда проблем, связанных с особенностями конструкции различного высоковольтного оборудования и типом использованных в нем изоляционных материалов.

Кроме того, на сложность нормирования технического состояния высоковольтного оборудования по параметрам частичных разрядов большое влияние оказывают физические особенности возникновения и распространения импульсов от частичных разрядов. Основными из них являются следующие:

- Широкий частотный диапазон частичных разрядов, которые могут возникать в зоне дефектов в изоляции. Не вникая в причины и подробности этого, можно сказать, что частота импульсов частичных разрядов в различном оборудовании может меняться и составлять от десятков килогерц до нескольких гигагерц. Это приводит к тому, что энергия этих разрядов и пути распространения импульсов внутри оборудования практически всегда уникальны, и очень сложно поддаются нормированию по частоте амплитуде.

- Следствием этого является то, что параметры регистрируемых измерительными приборами импульсов частичных разрядов зависят от места возникновения дефекта в изоляции, а еще больше от расстояния от места возникновения разряда до датчика, регистрирующего эти импульсы. Импульсы от одинаковых дефектов, но удаленных на различное расстояние от измерительного датчика, могут на практике отличаться по амплитуде на порядок.

Сам факт наличия в высоковольтном оборудовании частичных разрядов является диагностическим признаком, но амплитуда этих разрядов однозначно не связана со степенью развития дефекта, являющегося их источником.

- В высоковольтной изоляции возможно возникновение дефектов различного типа, характерный набор которых в основном определяется техническими параметрами изоляции и типом электротехнического оборудования. Даже одинаковые дефекты в различном высоковольтном оборудовании по-разному влияют на его техническое состояние. Поэтому определение типа дефекта, проводимое по PRPD распределению импульсов частичных разрядов относительно синусоиды питающей сети, всегда является ответственной диагностической задачей.

Наиболее важной категорией, при помощи которой оцениваются выявленные дефекты в изоляции, является степень их опасности для дальнейшей эксплуатации оборудования. Сравнительно «неопасные дефекты», даже имеющие высокий уровень частичных разрядов, не так важны для оценки технического состояния оборудования, как «более опасные», пусть даже они характеризуются частичными разрядами меньшей интенсивности и энергии.

- Наименее опасными для работы оборудования являются дефекты типа «плавающий потенциал», когда на внешнем изоляционном промежутке в оборудовании присутствует металлическое включение, например, монтажный болт, гальванически не соединенный ни с высоким, ни с земляным потенциалом. Такой дефект генерирует частичные разряды высокого уровня, но чаще всего не приводит к полному перекрытию изоляционного промежутка. Также сравнительно неопасным является дефект типа «корона на высоковольтном электроде», когда на остром выступе высоковольтной шины возникает классический коронный разряд. Такой дефект может существовать достаточно долго, его параметры обычно связаны с влажностью окружающей среды.

- Наиболее опасными являются дефекты, возникающие внутри высоковольтной изоляции из-за наличия газовых включений, металлических частиц или иных структурных дефектов в изоляции. Вся энергия частичных разрядов от этих дефектов расходуется на процессы деградации изоляционных материалов, к местному науглероживанию слоев изоляции, что рано или поздно приводит к полному перекрытию изоляционного промежутка.

- Опасным для дальнейшей эксплуатации оборудования является сам факт последовательного развития дефекта в изоляции, сопровождающийся увеличением количества импульсов частичных разрядов и ростом их энергии. Наличие в контролируемом оборудовании такого временного тренда, заключающегося в медленном или скачкообразном росте интенсивности частичных разрядов, практически всегда однозначно говорит о последовательном и необратимом процессе деградации в изоляционной системе оборудования.

Увеличение интенсивности частичных разрядов от выявленного дефекта в изоляции всегда говорит о процессе его развития.

Таким образом, однозначное «прямое» нормирование технического состояния оборудования по какому-либо исходному параметру частичных разрядов невозможно. Вся диагностика строится на использовании интегральных параметров, определяемых при помощи экспертных алгоритмов, разрабатываемых фирмами, занимающимися изготовлением и поставкой специализированного диагностического оборудования.

1.3 Алгоритм выявления дефектов в изоляции и оценки технического состояния высоковольтного оборудования

Если кратко обобщить все вышесказанное, то практическая оценка технического состояния изоляции высоковольтного оборудования на основе измерения и анализа частичных разрядов на практике должна проводиться в несколько этапов:

- Сначала необходимо выявить сам достоверный факт наличия или отсутствия импульсов частичных разрядов в изоляции контролируемого оборудования. Главная задача на этом этапе заключается в том, что необходимо обеспечить проведение качественной отстройки от влияния высокочастотных помех, в противном случае будет высока вероятность спутать импульсы помех с «истинными» частичными разрядами.

- На втором этапе проведения диагностических работ необходимо определить типы выявленных дефектов, являющихся источниками выявленных частичных разрядов. По итогам этого анализа необходимо обращать основное внимание не на те дефекты, частичные разряды от которых максимальны интенсивны, а на разряды, источниками которых являются дефекты внутри изоляции, максимально опасные для дальнейшей эксплуатации высоковольтного оборудования, пусть даже импульсы от этих дефектов являются не самыми интенсивными.

- На третьем этапе диагностики необходимо выявлять наличие каких-либо технологических, например, температурных или связанных с величиной температуры или питающего напряжения, трендов в изменении параметров частичных разрядов. Если такая связь будет выявлена, то необходимо будет определиться с опорной точкой по технологическому параметру, которая будет использоваться для оценки скорости развития дефектов.

- На четвертом этапе диагностики необходимо выявлять наличие временных трендов в изменении параметров частичных разрядов. Чем выше скорость развития интенсивности частичных разрядов от конкретного дефекта с течением времени, тем более опасным является этот дефект для дальнейшей эксплуатации оборудования.

Необходимо отметить, что на всех вышеперечисленных этапах оценки технического состояния оборудования используется не простая параметрическая диагностика, как этого ожидает большинство пользователей, а экспертная. Ни на каком этапе диагностики определяющим не является какой-либо параметр частичных разрядов (а параметрическая диагностика базируется на контроле величины одного или нескольких параметров), везде применяется аналитическое сравнение нескольких значений промежуточных параметров частичных разрядов и, по итогам сравнения, производится формирование новых диагностических и эксплуатационных категорий, прямо не являющихся параметрами частичных разрядов.

Такой подход к диагностике является прямым следствием того, что однозначно нормировать параметры частичных разрядов по какому-то параметру с созданием стандартных категорий качества невозможно.

2 Применение прибора Зі для контроля состояния высоковольтной изоляции

Измерительный прибор марки Зі является диагностическим прибором начального уровня, предназначенным для использования персоналом, не имеющим специальной диагностической подготовки. Для получения достоверных диагностических заключений от персонала требуется хорошее знание принципов работы и конструктивных особенностей контролируемого высоковольтного оборудования.

Простота конструкции и использования прибора Зі в какой-то мере сокращает информативность его диагностических заключений, но значительно повышает оперативность проведения измерений, позволяющую контролировать техническое состояние большого количества

высоковольтного электротехнического оборудования.

Отличительной особенностью прибора 3i является наличие различных встроенных алгоритмов, позволяющих автоматизировать сервисные и вспомогательные функции регистрации и анализа частичных разрядов.

Наличие в составе поставки прибора 3i специализированного программного обеспечения марки INVA Portable, предназначенного для установки на персональном компьютере, позволяет диагностическому персоналу проводить полный цикл диагностики технического состояния оборудования, начиная с измерения, анализа, хранения информации, заканчивая автоматическим формированием отчетных документов в стандартном формате Word.

2.1 Контроль технического состояния изоляции ячеек КРУ

Комплектные распределительные устройства (КРУ) с рабочим напряжением 6-35 кВ являются базовым электротехническим распределительным устройством, при помощи которого обычно организуется электроснабжение высоковольтного оборудования промышленных предприятий.

Частичные разряды в КРУ, являющиеся признаками возникновения различных опасных дефектов в высоковольтной изоляции, могут возникать как внутри самих ячеек, так и на входящих фидерах и отходящих кабельных линиях. При небольшой длине отходящих кабельных линий в ячейке КРУ даже можно зарегистрировать частичные разряды от дефектов, которые возникли в подключенном высоковольтном оборудовании, например, в распределительных трансформаторах 10/0,4 и в высоковольтных электродвигателях.

2.1.1. Места возможного возникновения частичных разрядов в ячейках КРУ.

Частичные разряды от дефектов в высоковольтной изоляции могут возникать в ячейках КРУ в трех различных внутренних объемах, где присутствует высокое напряжение. Необходимо помнить, что для возникновения частичных разрядов в зоне дефектов необходимо приложить напряжение не менее 4 кВ. При меньших напряжениях в оборудовании могут возникать только искровые разряды, имеющие другие параметры.

В отсеке высоковольтного выключателя ячейки КРУ частичные разряды могут возникать в нескольких высоковольтных элементах:

- В изоляции высоковольтных выключателей.
- В опорных изоляторах, поддерживающих токоведущие шины, из-за наличия трещин, внутренних дефектов или поверхностного загрязнения.
- В измерительных трансформаторах тока.
- В концевых муфтах, подключенных к ячейке высоковольтных кабельных линий.

Также частичные разряды могут возникать в высоковольтных соединительных шинах, объединяющих между собой коммутационные ячейки. Эти трехфазные шины обычно располагаются в



верхних отсеках шкафов КРУ. Здесь частичные разряды сопровождают возникновение различных внутренних дефектов опорных изоляторов или поверхностное загрязнение внешних путей утечки изоляторов. Частичные разряды с максимальной амплитудой обычно регистрируются в верхнем отсеке ячейки, вблизи которой возник дефект в соединительных шинах.

Частичные разряды в изоляции, регистрируемые в нижних отсеках ячеек КРУ, чаще всего обусловлены дефектами в подключенных кабельных линиях. Согласно статистике, частичные разряды в кабельных линиях, особенно с изоляцией из сшитого полиэтилена, в 80% случаев связаны с дефектами, возникшими в концевых и

соединительных муфтах кабельной линии.

При этом необходимо учитывать, что если дефект возник в самом кабеле (небольшой длины), или в удаленной соединительной или концевой муфте, или даже в подключенном этим кабелем высоковольтном оборудовании, то частичные разряды все равно могут регистрироваться в районе концевой муфты в ячейке КРУ.

2.1.2. Выбор точек контроля частичных разрядов в ячейках КРУ.

Переносной прибор марки Zi оснащен двумя встроенными датчиками: акустическим датчиком и датчиком токов растекания по поверхности высоковольтного оборудования марки TEV. В соответствии с типом выбранного датчика производится выбор мест для измерения импульсов частичных разрядов.

2.1.2.1. Акустический датчик, который является наиболее эффективным в том случае, когда он имеет прямой и максимально короткий по расстоянию акустический контакт с точкой возникновения частичных разрядов. Наличие любых препятствий на этом пути может сильно снизить амплитуду импульсов, регистрируемых датчиком.

В идеальном случае измерение частичных разрядов будет наиболее корректным, если открыты крышки отсеков ячейки КРУ. В реальных условиях это невозможно по причине недопустимости работы оборудования с открытыми отсеками. Поэтому для измерения частичных разрядов внутри ячеек при помощи акустических датчиков используются технологические щели между крышками отсеков и боковыми стенками ячеек.

Встроенный акустический датчик можно прикладывать и к крышкам, и к стенкам отсеков, но чувствительность измерений разрядов в этом случае бывает обычно меньше.

При проведении измерений акустический датчик будет регистрировать и импульсы помех, источники которых могут располагаться внутри и вне контролируемого объема ячейки. При необходимости можно использовать внешний акустический датчик, входящий в комплект поставки прибора Zi, который подключается к прибору при помощи специального кабеля.

2.1.2.2. Датчик контроля высокочастотных поверхностных токов растекания марки TEV работает по другому принципу. Он регистрирует вихревые токи в металлических панелях, которые наводятся от высокочастотных разрядов, возникающих внутри ячейки КРУ в изоляции высоковольтного оборудования. Величина этих высокочастотных токов растекания зависит от энергии разряда в изоляции, расстояния от разряда до металлического листа (элемента конструкции ячейки), его геометрических размеров и толщины, а также от электромагнитных параметров материала этого листа.

Датчик марки TEV имеет очень низкую помехозащищенность, так как он регистрирует высокочастотные токи растекания в металлическом листе конструкции ячейки, наведенные как от импульсов, возникших внутри ячейки, так и от импульсов, пришедших к ячейке снаружи (это со 100% вероятностью импульсы помех).

Как и для акустических датчиков, амплитуда высокочастотных импульсов от частичных разрядов, регистрируемых TEV датчиком, значительно зависит как от удаления конструкционного металлического листа от места возникновения разряда, так и от места установки датчика на этом листе. Также на амплитуду зарегистрированного импульса оказывает влияние частота исходного частичного разряда.

2.1.2.3. Для проведения измерений частичных разрядов в КРУ могут быть использованы внешние датчики, входящие в расширенный комплект поставки прибора, включающий в себя параболическую (дистанционную) акустическую антенну, внешний датчик токов растекания марки TSM (работающий по принципу датчика VEV) и высокочастотный трансформатор тока марки RFCT-2, представляющий собой разъемные токоизмерительные клещи.

Выбор датчика, используемого для регистрации частичных разрядов в ячейках КРУ, определяется пользователем исходя из особенностей контролируемого оборудования, имеющегося у диагноста практического опыта и собственных практических наработок. Оптимальным является последовательное использование обоих датчиков с последующим выбором лучшего в каждом конкретном случае.

2.1.3. Практические методические рекомендации, которые могут оказаться полезными при измерении частичных разрядов и проведении экспертной оценки технического состояния изоляционной системы ячеек высоковольтных КРУ.

Методическое замечание: учитывая реальное многообразие существующих типов КРУ, с которыми может столкнуться практический диагност, а также принимая во внимание сказанное выше о невозможности нормирования параметров частичных разрядов, можно практически однозначно сказать, что не существуют одинаковых рекомендаций, применимых для оценки технического состояния всех ячеек различных КРУ.

И второе замечание, может быть самое главное для практического диагноста: любое, сколь угодно подробное, но однократное измерение параметров частичных разрядов в одной отдельно взятой ячейке КРУ, никогда не позволит правильно оценить ее техническое состояние.

Кратко перечислим и немного поясним практически полезные рекомендации, которые помогут повысить информативность проведения диагностических работ. Их можно сформулировать в виде пяти максимально значимых пунктов:

2.1.3.1. Сравнение параметров частичных разрядов, измеренных в различных ячейках одного КРУ, между собой.

Чаще всего, если дефект в изоляции возникает в одной ячейке, то при измерении ЧР в этой ячейке будут зарегистрированы разряды максимальной амплитуды. Разряды в ячейках рядом будут иметь меньшую амплитуду, и, по мере удаления от дефектной ячейки, амплитуда частичных разрядов будет уменьшаться все сильнее. Причина этого вполне понятна и связана с пространственным затуханием высокочастотных импульсов частичных разрядов по мере удаления от места их возникновения.

Такая рекомендация наиболее полезна в том случае, когда дефект в высоковольтной изоляции возник или в отсеке выключателя, или в отсеке подключения отходящего кабеля. Если дефект возник на секционных шинах КРУ, в которых затухание может быть небольшим, то уменьшение амплитуды разрядов по мере удаления от места дефекта может быть менее выраженным, и выявить его будет значительно сложнее.

Наиболее полезными для локации места возникновения дефектов в изоляции в этом случае являются измерения частичных разрядов при помощи акустических датчиков, поскольку акустические сигналы распространяются от зоны дефекта по воздуху и (или) элементам конструкции, а не передаются по шинам в виде электрических сигналов. При использовании акустических датчиков можно более эффективно провести локацию мест возникновения дефектов как в изоляции секционных шин, так и внутри дефектной ячейки.

2.1.3.2. Включение и отключение ячейки с дефектом в изоляции.

Как уже указывалось выше, самым главным для проведения диагностики технического состояния КРУ является определение ячейки, в которой возник дефект в высоковольтной изоляции. Особенно сложным является случай, когда дефект возник в отходящей от ячейки кабельной линии, поэтому он плохо регистрируется в КРУ акустическим датчиком, так как такой датчик «не видит» сам разряд и очень слабо на него реагирует.

Если для регистрации импульсов частичных разрядов используется датчик растекания высокочастотных поверхностных токов, а тем более высокочастотный трансформатор тока марки RFCT, устанавливаемый на поводке заземления экрана кабеля с дефектом изоляции, то выявить дефектную ячейку бывает очень сложно. Причиной этого является то, что высокочастотный импульс частичного разряда распространяется по проводящим кабелю и шинам, причем перемещается он с очень небольшим амплитудным затуханием. По этой причине различие уровня частичных разрядов в рядом расположенных ячейках будет выявляться достаточно сложно.

При использовании более сложных и дорогих многоканальных приборов дефектная ячейка обычно выявляется по разнице времени прихода импульсов к датчикам, при использовании одноканального переносного прибора, каким является Z_i , сделать это так невозможно.

В этом случае практически единственным способом определения места возникновения дефекта в отходящем кабеле является последовательное отключение ячеек КРУ. При отключении дефектной ячейки уменьшение уровня частичных разрядов произойдет во всех рядом расположенных ячейках.

2.1.3.3. Перемещение датчика по поверхности ячейки.

Суть этого диагностического приема очень проста: перемещая акустический или TEV датчики прибора Z_i по доступным поверхностям ячейки, можно более точно локализовать место его возникновения внутри ячейки.

2.1.3.4. Контроль температуры и влажности воздуха в помещении, в котором расположено контролируемое КРУ.

Достаточно сложным диагностическим случаем является выявление причины периодического возникновения и пропадания частичных разрядов. Например, сегодня частичные разряды в изоляции присутствуют, завтра их уже не удастся зарегистрировать, а через некоторое время они появляются в ячейке снова. В чем причина такого нестационарного характера возникновения частичных разрядов в высоковольтных ячейках?

С точки зрения физики процессов возникновения частичных разрядов в изоляции КРУ, определяющими являются два параметра: состояние локального изоляционного промежутка, который периодически перекрывается частичными разрядами, и величина приложенного к нему напряжения. Величина приложенного напряжения в сети достаточно стабильна и не может привести к появлению

«нестационарных частичных разрядов», следовательно, причина заключается в изменении параметров изоляционного промежутка.

Небольшое замечание: частичные разряды практически не зависят от величины нагрузки, подключенной к ячейке, поскольку они вызываются напряжением (потенциалом на изоляционном промежутке), величина протекающего тока на них не влияет. Выражение «практически не зависит» здесь использовано потому, что небольшое влияние нагрузки на уровень частичных разрядов может быть за счет повышения температуры изоляции нагруженного оборудования.

Чаще всего появление и исчезновение частичных разрядов в ячейках КРУ связано с наличием поверхностного загрязнения изоляции и колебанием влажности окружающей среды. Увеличение влажности увеличивает разрядную активность, уменьшение влажности может привести к исчезновению частичных разрядов. Наличие такой связи между влажностью и параметрами частичных разрядов чаще всего говорит о необходимости очищения рабочих поверхностей опорных изоляторов.

Температура в ячейках КРУ влияет на параметры регистрируемых частичных разрядов не так однозначно. Увеличение температуры воздуха в помещении обычно увеличивает интенсивность регистрируемых частичных разрядов, а повышение температуры оборудования ячеек, например, при росте нагрузки, иногда может «подсушить» поверхность изоляции и уменьшить интенсивность частичных разрядов.

Весь этот анализ состояния поверхности изоляции можно опустить и сделать практически важный вывод: если имеет место появление нестационарных частичных разрядов, и они как-то связаны с влажностью воздуха, то необходимо принимать меры по очистке рабочих изоляционных поверхностей в ячейках КРУ.

2.1.3.5. Выявление временных трендов в характере изменения параметров частичных разрядов в изоляции ячеек КРУ.

Самым очевидным и опасным признаком процесса развития дефектных состояний в высоковольтной изоляции является наличие временных трендов: признаков увеличения интенсивности частичных разрядов в процессе эксплуатации КРУ.

Увеличение интенсивности частичных разрядов в высоковольтной изоляции может происходить скачкообразно, в один момент времени, или монотонно, в течение длительного временного интервала:

- Скачок интенсивности частичных разрядов на практике обычно происходит в момент возникновения дефекта в изоляции, или при резком расширении уже существующей в изоляции дефектной зоны. В качестве примера можно привести случай, когда происходит локальный пробой следующего участка общего изоляционного промежутка, т.е. при расширении зоны дефекта. Все скачкообразные возникновения и увеличения интенсивности частичных разрядов в контролируемом изоляционном промежутке являются тревожным признаком деградации высоковольтной изоляции.

- Не менее опасным является монотонное возрастание интенсивности частичных разрядов в ячейке КРУ в процессе эксплуатации. Это также всегда говорит о продолжающемся процессе деградации изоляции, только происходящем с небольшой скоростью, от чего опасность дефекта в изоляции дефекта не уменьшается.

Потенциальная степень опасности последовательного развивающегося дефекта в изоляции является сложной функцией многих параметров, но с приемлемой для практики точностью можно считать, что если за месяц интенсивность регистрируемых частичных разрядов увеличилась вдвое, то об этом дефекте следует обязательно задуматься.

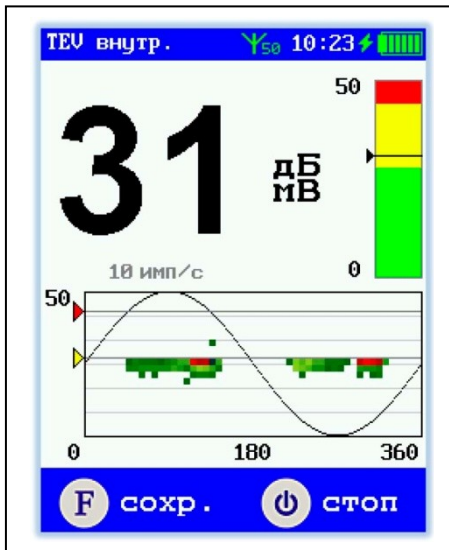
Если же тенденция двукратного роста интенсивности частичных разрядов в изоляции ячейки КРУ будет сохраняться два и более месяца, то персоналу уже необходимо принимать меры к проведению дополнительных более подробных диагностических работ и к подготовке к сервисным или ремонтным работам.

2.1.3.6. Определение типа выявленного дефекта в изоляции ячейки КРУ на основе анализа PRPD диаграмм.

Как уже указывалось, для оценки возможности дальнейшей безопасной эксплуатации изоляции ячеек КРУ, в которых были выявлены частичные разряды, необходимо знать тип дефекта, который является их источником. Корректное разделение выявленных дефектов в изоляции на опасные и неопасные (малоопасные) позволяет персоналу более правильно строить стратегию дальнейшей безаварийной эксплуатации оборудования.

Стандартная общепринятая диаграмма PRPD частотного распределения импульсов частичных разрядов представляет собой двухмерный график, показывающий связь между моментом

возникновения частичных разрядов в изоляции и угловой фазой синусоиды питающей сети. Эта диаграмма отражает связь между направлением и скоростью изменения приложенного к изоляции напряжения и особенностями возникновения разряда. Осями PRPD графика распределения частичных разрядов являются угловая фаза питающего напряжения, от нуля до 360 градусов, и максимальной амплитудой каждого зарегистрированного прибором частичного разряда.



Каждый импульс частичного разряда на PRPD диаграмме показывается точкой, имеющей фазу и максимальную амплитуду. Количество повторяющихся импульсов с одинаковыми параметрами на диаграмме показывается цветом. Пример PRPD диаграммы приведен в нижней части копии экрана прибора.

Для того, чтобы получить на экране PRPD распределение импульсов частичных разрядов, регистрацию необходимо проводить с использованием датчика марки PFR, который передает по радиоканалу в прибор отметку начальной фазы питающей сети.

С точки зрения физических процессов возникновения частичных разрядов от дефектов в высоковольтной изоляции можно выделить два основных варианта:

- Частичные разряды возникают при росте приложенного напряжения от нуля в положительную сторону.

На участке роста частичные разряды возникают от дефектов внутри изоляции. Вблизи максимума напряжения чаще всего имеют место импульсы положительного коронного разряда с поверхностных дефектов на высоковольтном проводнике. На ниспадающем участке положительной полуволны напряжения до нуля частичных разрядов обычно не бывает.

- Частичные разряды возникают также и при росте приложенного напряжения от нуля в отрицательную сторону. Аналогично на участке падения напряжения частичные разряды возникают от дефектов внутри изоляции. Вблизи минимума напряжения чаще всего имеют место импульсы отрицательного коронного разряда с поверхностных дефектов на земляном проводнике, которые по амплитуде обычно меньше импульсов положительной короны. На участке от минимума до нуля частичных разрядов тоже обычно не бывает.

С точки зрения опасности выявленных при помощи PRPD диаграммы дефектов, не вникая в особенности возникновения и развития разрядных процессов в высоковольтной изоляции, можно выделить три случая:

- Если частичные разряды фиксируются на обеих полуволнах питающего напряжения в достаточно узких фазовых зонах (примерно по 40 – 50 градусов), и примерно одинаковы по интенсивности, то вероятнее всего этот дефект возник внутри высоковольтной изоляции. Это наиболее опасный дефект.

- Если частичные разряды возникают только на одной полуволне питающего напряжения, положительной или отрицательной, то это обычно коронный (поверхностный) разряд. Такой дефект является наименее опасным для эксплуатации оборудования, хотя в некоторых случаях и он может привести к разрушению основной изоляции.

- Третьим типом дефекта в высоковольтной изоляции, часто встречающимся в практике, является «плавающий потенциал». По своей природе это есть поверхностный разряд между высоковольтным или земляным электродом и металлическим включением, например, крепежным болтом, не связанным ни с каким электродом. Поскольку дефект поверхностный, степень его опасности небольшая. Особенностью этого дефекта является то, что на PRPD диаграмме он присутствует на обеих полуволнах, но в отличие от дефекта в изоляции может занимать на каждой полуволне широкие угловые зоны, от 80 до 160 градусов. Второй особенностью этого дефекта является то, что все импульсы от него имеют примерно одинаковую амплитуду, но она обычно на полученных распределениях является максимальной. На практике на начинающих диагностов эти импульсы действуют как красная тряпка, хотя реально это не всегда критично для работы оборудования.

Полезное замечание.

Когда мы используем датчик синхронизации марки PFR, то он всегда передает в прибор начальный угол той фазы, к которой датчик подключается. Но, с другой стороны, в ячейке КРУ мы диагностируем состояние трехфазного объекта, в котором дефект может возникнуть в изоляции

любой фазы, имеющий сдвиг фазы относительно опорной, к которой подключен датчик PFR. По этой причине все вышеприведенные рассуждения о росте и спаде приложенного напряжения по фазе могут быть некорректными. Наличие датчика синхронизации позволит прибору корректно создать PRPD диаграмму, некорректной в ней будет только начальная фаза.

На самом деле стабильный сдвиг фазы с дефектом в ячейке КРУ относительно опорного сигнала от датчика PFR не приведет к большой методической погрешности, просто сам процесс диагностики будет строиться немного иначе:

- Если на PRPD распределении имеется одна группа импульсов, то это обычно результат коронного разряда, отрицательного или положительного.

- Если на PRPD распределении четко выделяются две группы высокочастотных импульсов, примерно через 180 градусов, то это или признак дефекта внутри изоляции, или плавающего потенциала. Для уточнения нужно оценить ширину групп импульсов и определить, одинаковые ли импульсы по амплитуде в группах, или они имеют переменную амплитуду. Соответственно в первом случае (при «широких» группах и одинаковых по амплитуде импульсов) это будет дефект типа «плавающий (поверхностный) потенциал», дефект сравнительно небольшой опасности, или (при более узких по фазе группах и импульсах переменной амплитуды) это будет наиболее опасный для эксплуатации дефект в высоковольтной изоляции.

Еще одно замечание:

Здесь была сделана попытка максимально просто описать процесс определения типа дефекта пользователем «на месте», только глядя на экран прибора Zi. Есть и другой путь определения типа дефекта в высоковольтной изоляции ячейки КРУ. Для этого нужно полученное в измерительном приборе PRPD распределение импульсов частичных разрядов скачать в базу данных прилагаемой к прибору программы марки INVA Portable, в которой имеется встроенная функция диагностики типа дефекта. Это даст возможность пользователю «проверить себя», сверив результаты диагностики «на месте» с выводами диагностической программы.

В приборах более высокого уровня диагностика дефектов строится по более сложным алгоритмам, что позволяет максимально возможно уточнять диагностические заключения. Недостатком такого подхода является то, что такие приборы сложнее и дороже, кроме того, они требуют наличия у диагностического персонала специальной подготовки.

2.2 Контроль технического состояния изоляции высоковольтных кабельных линий

При помощи переносного прибора марки Zi можно проводить экспресс-диагностику технического состояния изоляции высоковольтных кабельных линий 6-35 кВ, особенно концевых и соединительных муфт в процессе эксплуатации. Основное требование к месту проведения измерений частичных разрядов: оно должно быть доступно для проведения оперативных и безопасных диагностических работ.

Процедура проведения такой диагностики достаточно проста и не требует специализированной подготовки эксплуатационного персонала. Недостатком такой максимально оперативной и массовой диагностики, как и следует ожидать, является, в ряде случаев, сравнительно невысокая достоверность получаемых диагностических заключений.

Можно этот недостаток сформулировать иначе, более методически правильно: при помощи экспресс диагностики высоковольтных кабельных линий переносным прибором марки Zi дефекты в изоляции выявляются на более поздних этапах развития, чем это может быть сделано при помощи стационарных, более дорогих и сложных, но более эффективных систем стационарного диагностического мониторинга.

2.2.1. Особенности физических процессов возникновения частичных разрядов в зоне дефектов в кабельных муфтах и самих кабелях.

Для регистрации частичных разрядов в изоляции высоковольтных кабельных линий могут использоваться датчики, работающие на разных физических принципах и, соответственно, регистрирующие импульсы от частичных разрядов в различных частотных диапазонах.

Прибор марки Zi работает с датчиками частичных разрядов трех типов:

- Проведение регистрации частичных разрядов в приборе Zi может быть произведено при помощи двух акустических датчиков: встроенного в прибор резонансного и внешнего широкодиапазонного датчика. В любом случае сигналы частичных разрядов будут регистрироваться акустическим датчиком только на расстоянии «прямой акустической видимости», т.е. не далее нескольких метров, а чаще всего и еще меньше. По этой причине акустические датчики могут быть использованы только для поиска дефектов в концевых и соединительных муфтах. Теоретически они

могут быть использованы и для контроля дефектов в самих кабелях, но сложно представить на практике последовательную перестановку датчика по всей длине кабеля с интервалом 1 метр, особенно для кабельной линии подземной прокладки.

- Могут быть использованы высокочастотные трансформаторы тока марки RFCT, регистрирующие импульсы частичных разрядов в диапазоне частот от 0,1 до 10 МГц. При помощи таких датчиков регистрируются импульсы от дефектов в изоляции, находящихся в кабельной линии и соединительных муфтах на расстоянии до 2 км и более от места установки датчика и иногда более, поскольку импульсы такой частоты распространяются в кабеле с небольшим затуханием. Это является не только достоинством, но и недостатком, так как усложняет локацию, т.е. разделение дефектов по месту их возникновения. Вторым недостатком RFCT датчика является то, что он наряду с информативными импульсами частичных разрядов «собирает» и высокочастотные помехи с такого же большого участка кабельной линии.

- На практике иногда эффективно использование датчиков регистрации высокочастотных токов растекания типа TEV (датчик марки TSM), регистрирующих импульсы частичных разрядов в диапазоне частот в десятки и сотни мегагерц. Поскольку кабельная линия имеет большую емкость, то импульсные сигналы такой большой частоты в ней быстро затухают. Реальная зона чувствительности таких датчиков не превышает нескольких десятков метров по длине кабельной линии, т.е. они применимы для поиска дефектов только в кабельных муфтах и вблизи них.

В зависимости от того, техническое состояния какого элемента высоковольтной кабельной линии предлагается контролировать при помощи переносного прибора марки Zi, существуют общие рекомендации по выбору датчика частичных разрядов:

- Для контроля состояния концевых и промежуточных муфт оптимально использовать акустические датчики, прикладываемые непосредственно к поверхности муфт для улучшения акустического контакта.

- Для контроля технического состояния концевых муфт, находящихся в металлических защитных экранах, наряду с акустическими датчиками эффективно использовать датчики регистрации поверхностных высокочастотных токов в экранах марки TEV, устанавливаемые на поверхности экранов кабельных муфт.

- Состояние изоляции отходящих кабельных линий лучше всего контролировать при помощи высокочастотных трансформаторов тока марки RFCT, которые устанавливаются на поводках заземления экранов кабелей и муфт.

В некоторых случаях к контролируемому участку кабельной линии для регистрации импульсов частичных разрядов можно последовательно применить несколько датчиков различного типа. Сравнение параметров импульсов частичных разрядов, зарегистрированных этими датчиками в одной точке кабельной линии, может помочь более точно определить тип и локализовать место возникновения дефекта в изоляции.

2.2.2. Диагностика дефектов в концевой или соединительной кабельных муфтах.

Для диагностики технического состояния изоляции концевых и промежуточных кабельных муфт при помощи переносного прибора марки Zi оптимально использовать акустические датчики: встроенный резонансный и выносной широкодиапазонный. Информативность обоих датчиков при измерении в одной точке примерно одинакова.

В случае использования встроенного датчика преимуществом является компактность и оперативность проведения измерений: применение выносного датчика дает больше функциональных возможностей по выбору мест проведения измерений частичных разрядов. Перемещая датчик по поверхности муфты можно, контролируя амплитуду частичных разрядов, более точно локализовать место возникновения дефекта.

Как уже указывалось выше, акустический датчик имеет достаточно низкую помехозащищенность, в результате чего его выходной сигнал нестабилен, в основном это обусловлено влиянием высокочастотных и акустических (внешних!) нестационарных помех.

Если целью проводимых измерений является не только контроль наличия и уровня частичных разрядов, но и определение типа дефекта, являющегося их источником, то необходимо использовать беспроводной датчик синхронизации марки PFR. Этот датчик необходимо просто включить в розетку питания 220 вольт максимально близкую к месту проведения измерений, не далее 50-100 метров.

Если включить прибор в режим просмотра PRPD распределения импульсов относительно синусоиды питающей сети, то стационарные импульсы частичных разрядов будут группироваться в локальных угловых зонах относительно синусоиды питающей сети, а импульсы помех будут возникать в разных угловых зонах, и от них можно будет достаточно легко отстроиться.

По полученному на экране прибора PRPD распределению импульсов можно «на месте» определить тип дефекта. Особенности возникновения и характерные признаки дефектов в высоковольтной изоляции приведены выше в разделе 2.1.3.

Применительно к диагностике типов дефектов, возникающих в изоляции кабельных муфт, можно отметить следующее:

- Наиболее опасными типами дефектов в кабельных муфтах, которые можно достаточно просто диагностировать прибором марки Zi, являются дефект внутри изоляции и плавающий потенциал, когда в изоляции присутствует проводящий элемент, не подсоединенный ни к какому электроду. В отличие от ячеек КРУ, где максимально опасным является только дефект внутри изоляции, в кабельных муфтах эти оба дефекта являются опасными. Это связано с тем, что дефект типа плавающий потенциал в муфте обычно возникает в зоне выравнивания потенциала после выхода полупроводящего слоя из-под экрана кабеля в муфту.

- Корона на высоковольтном электроде также является опасным дефектом для кабельной муфты, так как она обычно возникает также в зоне выравнивания потенциала экрана кабеля и конструктивно располагается внутри изоляции муфты. Поскольку энергия коронных разрядов достаточно велика, деградация изоляции может произойти достаточно быстро.

- Часто встречающийся дефект изоляции кабельных муфт, называемый «расслоением параллельных проводников и слоев», по форме PRPD распределения импульсов частичных разрядов (полученного при использовании более дорогих и эффективных приборов), напоминающего «лучики» из точки перехода синусоиды через ноль, на экране прибора Zi представляется в виде двух треугольников роста амплитуды импульсов. Расстояние между этими треугольниками составляет примерно 180 градусов. Это дефект средней степени опасности.

- Очень опасным является дефект типа «возникновение водяных деревьев в основной изоляции кабеля». Дефект возникает при повреждении внешней оболочки кабеля и попадании под нее влаги, чаще всего вблизи муфт. От места нарушения внешней оболочки кабеля до места возникновения будущего дефекта, куда проникает влага, расстояние обычно небольшое, до десятка метров, это во многом зависит от трассы кабеля. Под влиянием рабочего напряжения влага начинает проникать («вкочиваться полем») в изоляцию и создавать в ней своеобразные водяные деревья, которые достаточно быстро растут в сторону центральной жилы кабеля. Пробой изоляции кабеля может произойти за короткое время: месяцы и даже недели. К сожалению, возникновение и развитие этого дефекта в изоляции кабельных линий не сопровождается появлением импульсов частичных разрядов, поэтому при помощи прибора марки Zi диагностировать этот очень опасный дефект в изоляции кабеля невозможно.

2.2.3. Особенности выявления дефектов в изоляции экранированных кабельных муфт.

В эксплуатации находится достаточно большое количество концевых муфт, защищенных металлическими экранами. Существуют некоторые особенности диагностики их технического состояния.

Если использовать акустические датчики и устанавливать их на поверхности экранов, то они будут регистрировать импульсы частичных разрядов, правда с пониженной в несколько раз чувствительностью. Эту особенность нужно учитывать при определении опасности и степени развития дефектов в изоляции кабельных муфт.

Дополнительно для контроля состояния экранированных муфт необходимо использовать датчики растекания высокочастотных поверхностных токов марки TEV. Чувствительность таких датчиков к импульсам частичных разрядов зависит от особенностей конструкции металлических экранов кабельных муфт, но обычно она все же оказывается лучше, чем при использовании акустических датчиков.

Недостатком и акустических датчиков, и датчиков поверхностных высокочастотных токов растекания, является очень низкая помехозащищенность от внешних наведенных высокочастотных импульсов. Поэтому при простом «прямом» измерении импульсов частичных разрядов в экранированной кабельной муфте достоверность проводимой диагностики обычно оказывается очень низкой, даже менее 50%.

Эффективность проведения диагностических работ по поиску дефектов в экранированных кабельных муфтах может быть повышена за счет синхронизации измерения частичных разрядов с синусоидой питающей сети при помощи датчика марки PFR. В этом случае, анализируя PRPD распределения импульсов на экране прибора марки Zi, можно даже визуально подтвердить наличие дефектов в изоляции муфт даже на фоне высокого уровня внешних помех. Импульсы частичных разрядов будут сосредоточены в одной или двух узких угловых зонах, а импульсы помех будут

«хаотично размазаны» по всей всему графику PRPD распределения импульсов.

2.2.4. Диагностика дефектов в высоковольтных кабелях, удаленных соединительных и концевых кабельных муфтах.

Переносной прибор марки Zi может быть использован для контроля технического состояния кабельных линий с рабочим напряжением 6-10 кВ и выше. При этом необходимо сразу сказать, что такое применение имеет достаточно низкую практическую применимость и достоверность. Прибор, конечно, можно использовать для этих целей, но только с целью достаточно упрощенной оценки технического состояния кабельной линии.

Измерение параметров частичных разрядов в кабельной линии необходимо проводить с использованием высокочастотных трансформаторов тока марки RFCT, подключаемых на поводках заземления кабелей и муфт. При этом измерение частичных разрядов производится в частотном диапазоне до десяти МГц с большой пространственной зоной чувствительности, достигающей 2 и более километров по длине кабельной линии.

Методическая проблема достоверной оценки технического состояния контролируемой кабельной линии заключается в том, что датчик марки RFCT регистрирует высокочастотные импульсы, как пришедшие из контролируемой кабельной линии, так и пришедшие «с другой стороны»: из других кабельных линий, подключенных к общему КРУ, из высоковольтных потребителей и даже из энергосистемы. Разделить все это многообразие возможных дефектов в энергосистеме в радиусе 2 километра между собой на «информативные» и на «внешние» относительно контролируемой кабельной линии при помощи прибора Zi теоретически и практически не представляется возможным.

Использование высокочастотных трансформаторов тока RFCT может быть иногда полезно, например, в следующих диагностических ситуациях:

- При практических измерениях частичных разрядов в концевой муфте дефект в изоляции диагностируется на основе акустического сигнала и на основе сигнала с датчика марки RFCT. При этом PRPD распределение импульсов частичных разрядов от обоих датчиков имеет примерно одинаковый вид. Это означает, что максимально значимым для эксплуатации является дефект в изоляции контролируемой муфты.

- При измерении акустическим датчиком импульсы частичных разрядов не регистрируются, в то время как датчиком марки RFCT импульсы регистрируются. По форме получаемого PRPD распределения импульсов частичных разрядов от RFCT датчика уверенно диагностируется какой-то дефект в изоляции. В этом случае правомерно можно говорить о том, что контролируемая муфта находится в бездефектном состоянии, а дефект располагается или в контролируемой кабельной линии, или во внешней энергосистеме.

- Импульсы частичных разрядов регистрируются акустическим датчиком, в то время как при помощи RFCT датчика «достоверных» импульсов частичных разрядов зарегистрировать не удастся. Это говорит о том, что акустическим датчиком регистрируются импульсы внешних помех, которые синхронизированы с питающей сетью. Причин для таких внешних импульсов акустических помех бывает много, например, помехи от люминесцентных осветительных ламп на подстанции и т.д.

В целом необходимо еще раз повторить, что проведения надежной оценки технического состояния высоковольтной кабельной линии использование переносного прибора марки Zi возможно, но чаще всего этого бывает недостаточно.

