

Интеллектуальный прибор марки МКМ-2 для контроля технического состояния концевых и соединительных муфт кабельных линий

По статистике наиболее частой причиной аварийного выхода из эксплуатации высоковольтных кабельных линий являются дефекты изоляции концевых и соединительных муфт. В наибольшей степени это актуально для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ). Эта проблема усложняется тем, что дефекты в СПЭ изоляции могут развиваться очень быстро: за считанные месяцы, недели и даже дни.

Наиболее эффективным решением для обеспечения надежного контроля технического состояния муфт кабельных линий является использование диагностического оборудования, работающего в режиме непрерывного мониторинга.

Особенности разработки и внедрения систем стационарного контроля кабельных муфт

Наиболее информативным и реально контролируемым в эксплуатации признаком возникновения и развития дефектов в изоляции кабельных муфт является появление высокочастотных импульсов частичных разрядов.

Электромагнитные импульсы частичных разрядов от проблемных зон в изоляции появляются практически сразу же после возникновения дефектов. По мере развития и расширения дефектных зон количество импульсов и их амплитуда обычно возрастают.

На более поздних стадиях развития дефектов в СПЭ изоляции кабельных линий могут даже возникать искровые разряды, достаточно часто приводящие к появлению зон термического нагрева.

Практическое выявление признаков возникновения дефектов в изоляции кабельных муфт по параметрам частичных разрядов и температуры сопряжено с рядом технических и алгоритмических сложностей, основными из которых являются две:

- Сложность конструкции и особенностей монтажа датчиков частичных разрядов для высоковольтных кабельных линий. Датчики должны регистрировать импульсы частичных разрядов с поверхности муфт, так как подключение к высоковольтной токоведущей жиле кабельной линии исключено. Но даже и при поверхностном монтаже датчика на поверхности муфты возможно появление высокого потенциала, если заземление экрана в этой точке осуществлено через защитный ОПН, что часто делается по условиям монтажа кабельных линий.

- Высокий уровень высокочастотных импульсных помех в кабельной линии, которые по своим параметрам близки к ожидаемым импульсам частичных разрядов. Эти помехи, часто имеющие высокую амплитуду, наводятся от других элементов энергосистемы. Они существенно затрудняют пороговую оценку технического состояния изоляции кабельной линии, а еще в большей степени влияют на достоверность результатов экспертного определения типа выявленного дефекта в изоляции, делают невозможным анализ степени опасности дефекта. В результате снижается итоговая достоверность работы системы контроля технического состояния кабельной линии.

Вариантом организации оперативного контроля технического состояния высоковольтных кабельных муфт, основанном на контроле и анализе частичных и локальных нагревов муфт, является использование диагностического прибора марки МКМ-2 (Мониторинг Кабельных Муфт).

Назначение диагностического прибора МКМ-2

Диагностическое устройство марки МКМ-2 является современным интеллектуальным беспроводным прибором, предназначенным для стационарного контроля технического состояния высоковольтных кабельных линий.



Прибор марки МКМ-2, смонтированный на кабельной линии

Основные конструктивные особенности МКМ-2:

- Корпус прибор марки МКМ-2 имеет защищенное беспроводное исполнение, к нему не нужно подключать кабель для внешнего питания встроенной электроники. Вся необходимая для работы измерительной схемы и микропроцессора энергия прибор получает электромагнитным путем от полей, наведенных вокруг кабеля рабочими токами в жиле кабеля.
- Для передачи информации о техническом состоянии кабельной муфты и линии в приборе МКМ-2 используется беспроводной интерфейс Bluetooth. Это позволяет получать информацию в радиусе 50 метров при помощи специализированных приемников или при помощи обычных смартфонов и планшетов, оснащенных этим интерфейсом.



Датчик частичных разрядов марки RFCT-8

Для сбора информации о техническом состоянии кабельной муфты (кабельной линии) в МКМ-2 используются первичные датчики трех типов.

- Техническое состояние изоляции муфты и прилегающих к муфте участков кабельной линии контролируется при помощи высокочастотного трансформаторного датчика частичных разрядов марки RFCT-8, монтируемого на поводке заземления экрана. Для удобства безопасной установки на проводнике заземления экрана кабеля и муфты корпус датчика имеет разъемную конструкцию.

- Локальный контроль импульсов частичных разрядов непосредственно внутри кабельной муфты производится при помощи двух встроенных в прибор акустических датчиков: один из которых является резонансным, а второй широкополосным.

- Контроль температуры поверхности кабельной муфты (кабельной линии в месте установки прибора), которая может повышаться на финальных стадиях развития дефектов, производится при помощи встроенного в корпус прибора температурного датчика.

Монтаж прибора и датчика частичных разрядов на кабельной линии

Прибор МКМ-2 монтируется на поверхности муфты или кабеля при помощи специальной металлической ферромагнитной ленты, охватывающей муфту контролируемой кабельной линии или сам кабель. Эта крепежная лента также является внешним магнитопроводом трансформатора, используемого для питания внутренней электроники прибора.

Порядок монтажа прибора МКМ-2 для контроля технического состояния изоляции кабельной линии:

- Прибор МКМ-2 устанавливается непосредственно на критической муфте, нуждающейся в контроле, или же, если такой монтаж конструктивно невозможен, он устанавливается на поверхности кабеля рядом с муфтой, максимально близко к тому месту, где находится заземление экрана кабеля.

- Из корпуса прибора с двух сторон выходят концы внутреннего магнитопровода трансформатора питания, к которым при помощи крепежных болтов присоединяется внешний магнитопровод из двух листов (слоев) стали толщиной 0,7 мм. Чем плотнее и надежнее прибор МКМ-2 будет прилегать к кабелю, тем от меньших токов в линии он будет работать, в идеальном случае это будет происходить при протекании тока от 20А.

- На проводнике заземления экрана муфты устанавливается разъемный трансформаторный датчик частичных разрядов марки RFCT-8. Если по техническим условиям монтажа кабельной линии проводник заземления экрана муфты будет подключен к земле через ограничитель перенапряжений, то датчик RFCT-8 должен монтироваться перед ним на высоком потенциале. Это делается для того, чтобы при коммутациях и протекании по кабелю токов короткого замыкания не возникало перенапряжений между корпусом датчика RFCT-8 и прибором МКМ-2, расположенном на поверхности муфты.

Оценка технического состояния и диагностика дефектов в изоляции кабельной линии при помощи экспертной системы

Прибор марки МКМ-2 является интеллектуальным устройством, в котором наряду с функцией регистрации частичных разрядов реализована эффективная экспертная диагностическая система, комплексно сочетающая в себе возможности и алгоритмы диагностической и предиктивной аналитики.

При помощи встроенных диагностических алгоритмов экспертная система прибора МКМ-2 может решать следующие задачи:

- Проводить максимально эффективное выделение информативных импульсов частичных разрядов на фоне даже очень высокого уровня электромагнитных импульсных помех в кабельной линии. Для этого в приборе используется синхронизация с питающим напряжением и анализ регистрируемых импульсов разрядов относительно синусоиды питающей сети, а также контроль формы и частотных параметров импульсов.

- Выполнять расчет интегральных параметров зарегистрированных импульсов частичных разрядов, описывающих суммарную энергетическую активность дефектных зон в изоляции производить расчет параметров временного тренда, присутствующего в изменении интенсивности частичных разрядов.

- Определять тип дефекта в изоляции, являющегося источником частичных разрядов, оценивать степень его опасности для дальнейшей эксплуатации кабельной линии. Выявление типа дефекта производится с использованием стандартных образов распределения импульсов частичных разрядов относительно синусоиды питающей сети. Такие распределения являются характерными для каждого возможного типа дефекта, они хранятся в памяти прибора МКМ-2. Также для каждого выявленного дефекта определяется скорость его развития, рассчитанная в режиме мониторинга.

- Контролировать температуру поверхности кабельной линии в месте установки прибора МКМ-2: температура может возрасти на последних этапах развития дефекта в изоляции кабельной муфты.

Итогом работы всего комплекса встроенных экспертных диагностических алгоритмов прибора МКМ-2 является расчетный коэффициент текущего технического состояния изоляции кабельной линии $K_{ТТС}$, рассчитанный на основании выявленных дефектов и оценки степени эксплуатационной опасности этих дефектов для дальнейшей работы кабельной линии.

Определение остаточного времени безаварийной работы контролируемой кабельной муфты

Для оценки остаточного ресурса и прогнозирования скорости возможного изменения (ухудшения) технического состояния контролируемой кабельной муфты на будущих этапах ее эксплуатации в программном обеспечении прибора МКМ-2 используется уникальный набор разработанных фирмой самонастраивающихся (адаптивных) математических моделей и алгоритмов предиктивной аналитики.

В первую очередь, в программном обеспечении, на основании текущих и архивных значений контролируемых

параметров кабельной муфты автоматически создается ее цифровой двойник. Это специализированная математическая модель муфты, которая максимально корректно описывает текущее техническое состояние муфты с учетом его изменения на предыдущих этапах эксплуатации.

Цифровой двойник каждой кабельной муфты, в силу своей практической адаптивности, является уникальным, так как он создается на основе учета основных особенностей конструкции муфты, реальных условий ее эксплуатации.

Максимальное значение для цифрового двойника имеет наличие или отсутствие в изоляции муфты выявленных экспертной системой признаков дефектных состояний. Степень влияния этих дефектов на параметры цифрового двойника муфты во многом определяется степенью опасности дефектов. По мере развития признаков и параметров дефектных состояний в изоляции параметры цифрового двойника муфты необходимо оперативно корректировать.

Наличие адаптивного цифрового двойника кабельной муфты позволяет формировать рекомендации по дальнейшей безаварийной эксплуатации оборудования. На основании таких расчетов в приборе марки МКМ-2 может быть определено допустимое время, в течение которого муфта, даже имеющая признаки дефектных состояний, может безопасно эксплуатироваться.

Практическим результатом работы системы марки МКМ-2 является техническое заключение о состоянии контролируемой муфты, о наличии и типе выявленных дефектов в изоляции, о степени их опасности. В отчете с результатами работы встроенной в прибор экспертной программы приводится расчетная информация о возможном остаточном сроке безаварийной работы контролируемой кабельной муфты.

В силу того, что реальное время развития дефектов разного типа в высоковольтной изоляции СПЭ кабельных линий может очень сильно различаться и, при определенных условиях, быть очень маленьким, расчетное прогнозируемое время безаварийной работы кабельной линии в диагностическом отчете, автоматически сформированном экспертной системой прибора, иногда может быть очень ограниченным.

Использование в приборе МКМ-2 высокочастотного трансформаторного датчика марки RFCT-8 позволяет контролировать не только техническое состояние муфты, на которой прибор установлен, но и наличие дефектов в участках кабеля с двух сторон от места установки датчика длиной до 0,5 – 2,0 км. В основном это обусловлено частотными свойствами датчика и особенностями распространения высокочастотных импульсов частичных разрядов в кабельной линии.

Возможные практические конфигурации систем мониторинга кабельных муфт и линий на основе приборов МКМ-2

Конструктивное исполнение стационарного прибора марки МКМ-2, набор реализованных в нем диагностических алгоритмов и беспроводной интерфейс передачи информации позволяют использовать его для контроля технического состояния как одной муфты в автономном

режиме работы, так и в составе сложных комплексных систем мониторинга нескольких кабельных линий.

Эти комплексные диагностические системы могут контролировать несколько кабельных муфт одной линии или нескольких кабельных линий, расположенных в составе общего КРУ или могут быть предназначены для контроля длинных кабельных линий.

Мониторинг критической муфты при помощи МКМ-2.

Это самый простой, оперативный и дешевый способ непрерывного контроля технического состояния изоляции одной кабельной муфты, находящейся в тревожном или критическом состоянии. Периодические измерения, проводимые переносными приборами, чаще всего не позволяют предотвратить аварии таких муфт.

Прибор МКМ-2 монтируется или непосредственно на корпусе контролируемой муфты, или на поверхности кабельной линии максимально близко к муфте при помощи внешнего магнитопровода, являющегося элементом монтажа. На поводке заземления муфты устанавливается разъемный датчик RFCT-8, который подключается к разъему на приборе МКМ-2.

Система мониторинга критической кабельной муфты, созданная на основе прибора МКМ-2, готова к работе. При подаче питающего напряжения на кабельную линию и протекании по фазам рабочего тока прибор МКМ-2 практически сразу начнет работать и контролировать техническое состояние муфты.

Результаты работы экспертной диагностической системы прибора МКМ-2 в виде расчетного коэффициента текущего технического состояния контролируемой муфты $K_{ТТС}$ и остаточного ресурса можно просмотреть на экране смартфона или планшета, оснащенного беспроводным интерфейсом Bluetooth.

Если технологически необходимо передавать информацию о состоянии муфты в систему АСУ-ТП, то недалеко от прибора необходимо установить специализированный приемник беспроводного интерфейса связи, подключенный к системе АСУ-ТП при помощи любого проводного интерфейса.



Мониторинг технического состояния нескольких муфт кабельных линий.

При помощи нескольких приборов диагностического мониторинга марки МКМ-2 можно создавать системы комплексного мониторинга кабельных линий. Установив

приборы на всех муфтах одной или нескольких кабельных линий, подключенных к одной кабельной сборке или КРУ, можно оценивать общее состояние всех фаз одной или нескольких кабельных линий.

Для сбора диагностической информации от всех установленных в КРУ (КРУЭ) приборов МКМ-2 достаточно использовать один монитор марки МКМ, показанный на рисунке. Вся собранная информация интегрируется, на ее основе формируется комплексное диагностическое заключение, создается архив замеров. При необходимости информация о техническом состоянии муфты передается в общую систему АСУ-ТП предприятия.

Интегрирование информации от нескольких приборов, установленных на разных фазах, позволяет повысить достоверность диагностических заключений, получаемых в приборах МКМ-2.

Во-первых, появляется возможность из всего количества импульсов частичных разрядов эффективно выделять импульсы, перенаведенные от дефектов, возникших в других фазах, которые при диагностике дефектов в данной фазе необходимо рассматривать как импульсы высокочастотных помех.

Во-вторых, сравнивая рабочую температуру муфт трех фаз одной кабельной линии, которые теоретически должны иметь одинаковую температуру, можно достоверно выявить муфту с предаварийными перегревами.

Мониторинг технического состояния муфт длинных кабельных линий и удаленных соединительных кабельных вставок.

Достаточно часто соединительные и концевые кабельные муфты монтируются там, где установка обычных приборов контроля осложнено отсутствием необходимого сетевого питания и отсутствием доступных интерфейсов связи. Обычно это пункты транспозиции длинных кабельных линий, расположенные «в поле», или же различные кабельные вставки, объединяющие между собой ЛЭП, или переходы ЛЭП в кабельную линию, расположенные вне населенных пунктов.

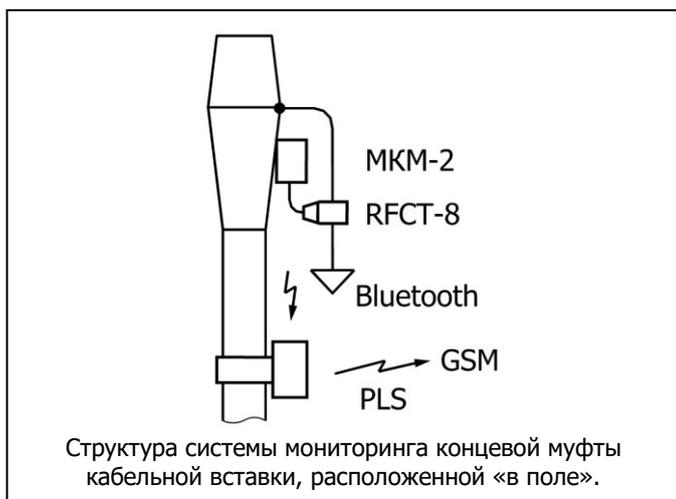


Схема расположения оборудования системы контроля технического состояния муфты (с прилегающим участком кабельной линии) показана на рисунке. Измерительный прибор марки МКМ-2 располагается непосредственно на поверхности муфты, а если это конструктивно затруднено, то прибор устанавливается непосредственно на кабеле, рядом с муфтой. Разъемный трансформаторный датчик частичных разрядов марки RFCT-8 устанавливается на поводке заземления экрана кабеля.

Информация о техническом состоянии контролируемой муфты из прибора МКМ-2 передается на приемопередатчик марки PLS, который реализует в себе два беспроводных интерфейса связи: (Bluetooth и GSM), и один проводной изолированный RS-485. При помощи PLS информация получается по Bluetooth из прибора МКМ-2 и передается в систему АСУ-ТП предприятия по проводному или беспроводному интерфейсам.

Для питания электроники автономного приемопередатчика PLS может быть использован специализированный трансформаторный источник питания. Этот источник получает энергию, необходимую для работы приемопередатчика электромагнитным путем от рабочих токов, протекающих в жиле кабеля.

Вторым вариантом автономного питания электроники приемопередатчика PLS, который доступен при открытом монтаже концевых муфт кабельных вставок, является работа МКМ-2 от солнечной батареи. В этом случае солнечная панель с контроллером заряда устанавливается на опоре ЛЭП. Для исключения перерывов в работе системы мониторинга в системе используется встроенный буферный аккумулятор.

Технические параметры системы контроля технического состояния кабельных линий на основе приборов марки МКМ-2

Измерительный прибор системы мониторинга марки МКМ-2 выполнен в герметизированном металлическом корпусе. С учетом электромагнитных антенн его габаритные размеры составляют 175*60*40 мм.

Монитор марки МКМ, предназначенный для сбора информации от беспроводных приборов МКМ-2 и передачи ее в систему АСУ-ТП, поставляется в защитном металлическом корпусе, имеющем габаритные размеры 190*160*80 мм.

Внешний блок интегрирования информации PLS конструктивно выполнен в одном герметичном металлическом корпусе и включает в себя с приемником интерфейса Bluetooth и приемопередатчиком GSM и имеет габариты 190*160*80 мм.