

ООО «DIMRUS»
<http://dimrus.ru>

Организация мониторинга технического состояния
высоковольтных кабельных линий

Пермь

Оглавление

1. Общие вопросы организации мониторинга кабельных линий.....	3
1.1. Экономические предпосылки для применения систем мониторинга высоковольтных кабельных линий.	3
1.2. Функциональные возможности систем мониторинга кабельных линий.....	3
1.2.1. Система мониторинга температурных режимов работы кабельных линий с использованием оптических волоконных линий.	4
1.2.2. Система диагностического мониторинга кабельных линий на основе регистрации и анализа частичных разрядов в изоляции.....	6
1.2.3. Система контроля емкостных токов утечки кабельных линий с целью выявления повреждений оболочки кабеля.	7
2. Организация комплексного диагностического мониторинга высоковольтных кабельных линий.....	8
2.1. Комплексный подход к организации мониторинга кабельных линий при помощи системы «КМК-500».....	8
2.1.1. Технические решения для организации комплексного мониторинга кабельных линий.....	9
2.1.2. Программное обеспечение мониторинга кабельных линий, экспертиза состояния.	12
2.2. Мониторинг кабельных линий с рабочим напряжением 6 ÷ 35 кВ.	13
2.2.1. Мониторинг локальной группы кабельных линий, подключенных на одной подстанции...13	
2.2.2. Мониторинг распределенной системы кабельных линий, объединяющих несколько подстанций и потребителей 6 ÷ 35 кВ.	14
2.3. Мониторинг кабельных линий 110 – 500 кВ.	15
3. Технические средства для организации мониторинга высоковольтных кабельных линий.....	17
3.1. Оптоволоконная система «ASTRO» для мониторинга температурных режимов работы кабельной линии.	17
3.2. Системы мониторинга и диагностики кабельных линий по частичным разрядам.	18
3.2.1. Система мониторинга и диагностики марки «CDM-30» для кабельных линий 6 ÷ 35 кВ.	18
3.2.2. Система мониторинга «CDU-12» для кабельных линий до 110 кВ.	21
3.2.3. Система мониторинга марки «CDR» для кабельных линий с напряжением 110 ÷ 500 кВ. ...	22
3.2.4. Система мониторинга марки «ADM-9» для мониторинга муфт кабельных линий.	24
3.2.5. Система мониторинга марки «CSM-1» для контроля состояния муфт кабельных линий.	26
3.3. Оборудование для контроля емкостных токов утечки в экранах кабельных линий.	29
3.3.1. Система мониторинга марки «CLM» для контроля токов утечки в экранах кабельных линий и диагностики повреждений оболочки.....	29
3.4. Технические средства для создания систем периодического мониторинга кабельных линий. .30	
3.4.1. Система периодического мониторинга кабельных линий с использованием комплектов датчиков «DKL» и переносного прибора «DIM-Loc».	30
3.4.2. Организация периодического мониторинга состояния КРУ и кабельных линий при помощи переносного прибора «3i».....	31

1. Общие вопросы организации мониторинга кабельных линий.

1.1. Экономические предпосылки для применения систем мониторинга высоковольтных кабельных линий.

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» (**C**ross **L**inked **P**oly**E**thylene).

Основным эксплуатационным отличием кабелей с СПЭ изоляцией от маслонаполненных 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 маслонаполненных кабелей, при использовании кабельных линий с СПЭ изоляцией теряют смысл.

Проведение периодических диагностических испытаний 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.

1.2. Функциональные возможности систем мониторинга кабельных линий.

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 негерметичность 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.

1.2.1. Система мониторинга температурных режимов работы кабельных линий с использованием оптических волоконных линий.

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 поступает 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.

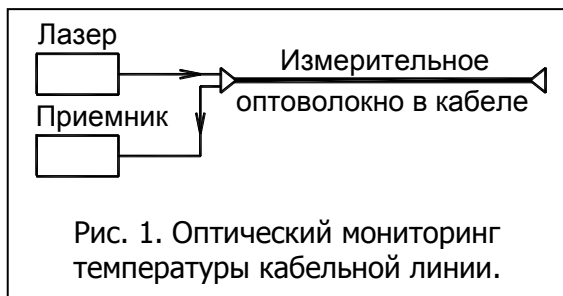


Рис. 1. Оптический мониторинг температуры кабельной линии.

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 будет

полностью отсутствовать информация о температуре, так как в этом месте, совместно с силовым кабелем, произойдет разрушение и оптического волокна – распределенного датчика температуры.

1.2.2. Система диагностического мониторинга кабельных линий на основе регистрации и анализа частичных разрядов в изоляции.

Наиболее эффективно поиск, анализ и локализация дефектных мест в высоковольтных кабельных линиях осуществляется при использовании метода оперативной регистрации и анализа частичных разрядов в изоляции. Это обусловлено тем, что возникновение и развитие практически всех дефектов в высоковольтной изоляции сопровождается появлением частичных разрядов различной интенсивности. При этом очень важно, что этот метод диагностики применяется в режиме «on-line» в процессе эксплуатации кабельной линии под рабочим напряжением, т. е. данный метод идеально подходит для использования в системах непрерывного мониторинга. (При отсутствии высокого напряжения в линии частичные разряды тоже отсутствуют!)

Для регистрации частичных разрядов в различном высоковольтном оборудовании могут быть использованы первичные датчики и регистрирующая аппаратура, работающие в трех различных диапазонах частот:

- Акустический и ультразвуковой диапазон частот US, до 300 кГц.
- Высокочастотный диапазон частот HF (ВЧ), от 150 кГц до 30 МГц.
- Сверхвысокочастотный диапазон частот UHF (СВЧ), от 100 до 1500 МГц.

Измерительное оборудование, работающее в каждом из этих трех частотных диапазонов, отличается параметрами, свойствами, особенностями монтажа первичных датчиков, ценой. Применительно к измерению частичных разрядов в высоковольтных кабельных линиях при выборе определяющим фактором является длина кабельной линии, которую можно контролировать при помощи одного датчика.

Краткая информация об особенностях практического применения для систем мониторинга кабельных линий диагностического оборудования, работающего в различных диапазонах частот, приведена в таблице 1.

Таблица 1.

Диапазон частот	Тип датчиков ЧР	Способ монтажа	Зона контроля	Объект контроля
US (ультразвук)	Пьезодатчики, микрофоны	Контактно и бесконтактно	± 1 м	Муфты
HF (ВЧ)	HF трансформаторы Конденсаторы связи	На земляных и токоведущих шинах	± 2000 м	Муфты, кабель
UHF (СВЧ)	Электромагнитные антенны	Бесконтактно	± 20 м	Муфты (?)

Из сравнительного анализа таблицы, что для организации мониторинга частичных разрядов в кабельных линиях предпочтительно использовать измерительную аппаратуру и первичные датчики, работающие в двух диапазонах частот:

- Акустические и ультразвуковые приборы и датчики для регистрации частичных разрядов в концевых и соединительных муфтах.
- Высокочастотные трансформаторы тока и измерительные приборы для регистрации частичных разрядов в концевых и соединительных муфтах, и в самом кабеле.

Наиболее эффективным является диагностическое оборудование, работающее в высокочастотном (HF) диапазоне частот. Оно одинаково хорошо применимо как для контроля состояния концевых и соединительных муфт, так и контроля изоляции самого высоковольтного кабеля.

Системы мониторинга, использующие акустические датчики и измерительные приборы, могут быть использованы только для контроля технического состояния концевых и соединительных муфт.

Диагностическое оборудование, работающее в UHF диапазоне частот, может быть использовано в системах мониторинга для контроля состояния муфт, но оно является более дорогим, чем оборудование, использующее акустические датчики, и чем оборудование, использующее датчики HF диапазона частот.

Современные системы мониторинга высоковольтных кабельных линий, основанные на методе регистрации и анализа импульсов частичных разрядов, работающие в HF диапазоне частот, позволяют:

- Выявлять наличие дефектов в изоляции кабельной линии, эффективно отстраиваясь от внешних помех, используя метод «time of arrival» (определение места возникновения импульса на основе анализа разницы во времени регистрации импульсов по двум и более измерительным каналам).

- Точно определять дефектный кабель на основании анализа амплитуд основных импульсов, и импульсов, наведенных в контролируемый кабель из рядом расположенных других фаз кабельной линии, и с соседних кабельных линий.

- На основании экспертного анализа фазового и количественного распределения зарегистрированных импульсов частичных разрядов от дефекта диагностировать тип дефекта, возникшего в изоляции, определять степень его развития и опасности для дальнейшей эксплуатации кабельной линии.

- Используя зарегистрированный на конце линии график распределения во времени прямого и отраженных импульсов частичных разрядов (от противоположного конца кабельной линии и соединительных муфт), можно выявлять в кабельной линии место возникновения дефекта в изоляции.

- Проведя экспертную оценку зарегистрированных импульсов частичных разрядов можно формировать рекомендации по дальнейшей эксплуатации кабельной линии, заранее планировать сроки и объемы регламентных и ремонтных работ.

В целом можно сказать, что для кабельных линий с СПЭ изоляцией основным диагностическим методом для поиска дефектов в основной изоляции является регистрация и анализ частичных разрядов в кабельной линии и в муфтах.

1.2.3. Система контроля емкостных токов утечки кабельных линий с целью выявления повреждений оболочки кабеля.

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 развиться, а может и не развиться.

- 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 линий. 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.

2. Организация комплексного диагностического мониторинга высоковольтных кабельных линий.

2.1. Комплексный подход к организации мониторинга кабельных линий при помощи системы «КМК-500».

Наилучшие технико-экономические результаты при проведении мониторинга высоковольтных кабельных линий могут быть получены при комплексном использовании всех вышеперечисленных диагностических методов. Технически и алгоритмически оборудование для реализации этих методов интегрировано в комплексной системе мониторинга марки «КМК-500» (Комплексный Мониторинг Кабельных линий), предназначенной для непрерывного диагностического контроля технического состояния высоковольтных кабельных линий, включая 500 кВ.

Основной особенностью этой системы является то, что оперативный контроль состояния КЛ ведется с использованием нескольких типов датчиков и регистрирующей аппаратуры, а анализ технического состояния КЛ производится на основе комплексного сравнения результатов работы всего диагностического оборудования:

- Контроль режимов работы линии на основании анализа профиля температуры с использованием встроенных оптоволоконных датчиков.

- Контроль состояния кабеля по результатам измерения частичных разрядов с использованием высокочастотных трансформаторов тока.

- Контроль состояния концевых и соединительных муфт по частичным разрядам при помощи акустических датчиков.

- Регистрация и анализ емкостных токов утечки и уравнивающих токов в экранах кабельной линии, контроль токов утечки через повреждения оболочки.

В состав системы «КМК-500» могут включаться различные измерительное и диагностическое оборудование, и первичные датчики, производимое различными фирмами. Конкретный выбор диагностического оборудования определяется реальными особенностями контролируемой кабельной линии, и требованиями технического задания на систему мониторинга.

Гибкая организация технических и программных средств, заложенная в систему мониторинга марки «КМК-500», в наибольшей мере соответствует оптимальному техническому и экономическому решению диагностических задач, возникающих в процессе мониторинга высоковольтных кабельных линий, позволяя использовать технические решения различной функциональности и стоимости.

В стандартной, наиболее полной конфигурации технических средств, система мониторинга марки «КМК-500» комплектуется следующим диагностическим оборудованием:

- Система контроля температуры кабельной линии (при помощи встроенного оптического волокна) марки «ASTRO», производителем которой является отечественная фирма «Инверсия – Сенсор». Эта современная высокотехнологическая система мониторинга позволяет оценивать температурный режим работы кабельной линии и выявлять зоны кабеля с повышенным нагревом.

- Для выявления дефектов изоляции кабеля и муфт по частичным разрядам на самых ранних стадиях их возникновения и развития, определение типа и опасности выявленного дефекта, оперативного проведения локации места возникновения дефектов, в системе «КМК-500» используются различные диагностические приборы производства отечественной фирмы «DIMRUS». Это приборы марок:

- «CDM», «CDU» - приборы контроля состояния изоляции кабельных линий до 35 кВ, подключенных к одному КРУ или кабельной сборке;

- «CDR» - прибор контроля состояния кабельных линий до 500 кВ по уровню и распределению частичных разрядов;

- «ADM» - прибор, предназначенный для контроля состояния изоляции концевых и соединительных муфт при помощи контактных акустических датчиков;

- «CSM» - прибор, предназначенный для комплексного контроля наиболее ответственных муфт, находящихся в критическом состоянии;

- «CLM» - прибор оперативного контроля токов утечки и поиска повреждений оболочек кабелей. Для длинных кабельных линий, в которых диагностика повреждений оболочки затруднена, в «КМК-500» используются регистраторы переменных токов и напряжений типа «ПАРМА».

2.1.1. Технические решения для организации комплексного мониторинга кабельных линий.

Все основное диагностическое и коммуникационное оборудование системы мониторинга «КМК-500» располагается в монтажных шкафах трех типов, объединяемых между собой оптоволоконными линиями связи. Конфигурация технических средств системы мониторинга, располагаемых в этих монтажных шкафах, зависит от реальной топологии контролируемой кабельной линии.

Маркировка шкафов серии «КМК-500»:

КМК-N/AX/YZK/T-PS,

Где: **N** – номер модификации шкафа – **1, 2** или **3**.

AX - наличие и тип системы ASTRO: ASTRO E54 – **A4**, ASTRO E58 – **A8**.

YZK – описание диагностического оборудования внутри шкафа (**Y** – наличие и количество приборов регистрации частичных разрядов электрическими датчиками, **Z** – наличие и количество приборов контроля частичных разрядов акустическими датчиками, **K** – наличие и количество приборов контроля емкостных токов в экранах кабелей).

T – температурное исполнение шкафа (**T** – расширенный температурный диапазон с системой подогрева, **O** – отсутствие системы поддержания заданной температуры).

PS – обозначение системы питания в шкафу, и описание способа резервирования сетевого питания.



Рис. 2. Шкаф марки «КМК-500/1».

Например, монтажный шкаф системы мониторинга марки **КМК – 2/A4/111/T-12** монтируется рядом с концевой муфтой КЛ и включает в себя:

- Систему оптического мониторинга температуры марки ASTRO E54.
- Один прибор марки «CDR» для контроля частичных разрядов электрическими датчиками.
- Один прибор марки «ADM» для контроля частичных разрядов акустическими датчиками.
- Один прибор марки «ПАРМА» для контроля емкостных токов утечки в экранах КЛ.
- Шкаф имеет систему подогрева для работы при низких температурах окружающей среды.
- Шкаф имеет сетевое питание переменного тока с резервированием по двум линиям.

Универсальный «центральный шкаф» системы мониторинга кабельных линий «**КМК-500/1**», приведенный на рисунке 2. В этом шкафу обычно располагается промышленный компьютер с программным обеспечением мониторинга и диагностики, обеспечивающий комплексный подход к оценке состояния кабельной линии несколькими диагностическими методами. В этом же шкафу располагаются

сетевые средства связи системы мониторинга кабельной линии с системой АСУ-ТП более высокого уровня.

Если шкаф системы мониторинга марки «КМК-500/1» располагается рядом с концевой муфтой (концевыми муфтами) контролируемой кабельной линии, то в нем могут монтироваться приборы систем «ASTRO», «CDR», «ADM» и «CLM».

Если расстояние от шкафа мониторинга «КМК-500/1» до контролируемой кабельной линии достаточно велико, более нескольких десятков метров, то все измерительные приборы контроля и мониторинга, с целью уменьшения длины сигнальных кабелей и снижения общего уровня наведенных помех, монтируются в дополнительном шкафу мониторинга марки «КМК-500/2».

Локальный шкаф системы марки «**КМК-500/2**», всегда устанавливается в начале и, для длинных линий, и в конце контролируемой кабельной линии, рядом с концевыми муфтами кабельной линии. В шкафу марки «КМК-500/2» обычно располагаются измерительные приборы всех диагностических подсистем мониторинга «ASTRO», «CDR», «ADM», «CLM» или «ПАРМА», так как в этом случае получают максимально короткие сигнальные кабельные линии.

На рисунке 3 приведена наиболее общая схема подключения первичных датчиков контроля состояния кабельной линии к измерительным приборам, смонтированным в шкафу «КМК-500/2».

К прибору «ASTRO», при помощи оптических соединителей «FO», подключаются три встроенных в фазные кабели оптических волокна, предназначенных для оперативного контроля температурных режимов работы КЛ.

К прибору «ADM» подключаются контактные акустические датчики, предназначенные для регистрации частичных разрядов в концевых муфтах. На рисунке датчики имеют обозначение «AS». В зависимости от рабочего напряжения и размеров муфт на каждой из них могут устанавливаться один или два акустических датчика.

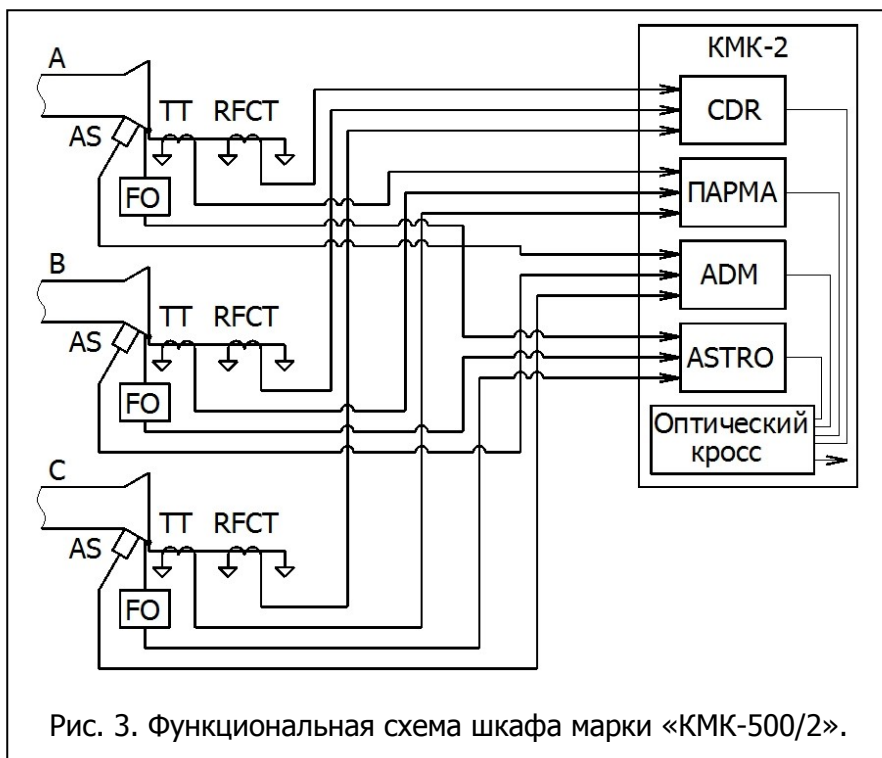


Рис. 3. Функциональная схема шкафа марки «КМК-500/2».

замыкание экранов кабелей на землю. Если же в точке установки датчиков экраны кабелей замкнуты на землю через ограничители перенапряжений (ОПН или разрядники), то в схеме необходимо предусматривать защиту измерительных цепей от импульсных перенапряжений. Эти перенапряжения возникают при различных коммутационных процессах и могут достигать величин до десятка киловольт, в зависимости от напряжения срабатывания ОПН. Для защиты от этих перенапряжений обычно приходится тщательно изолировать акустические датчики и их сигнальные кабели от корпусов муфт, а датчики типа «ТТ» и «RFCT» устанавливать не на самом выводе от экрана кабеля, а уже после ОПН, на проводнике заземления, «глухо»

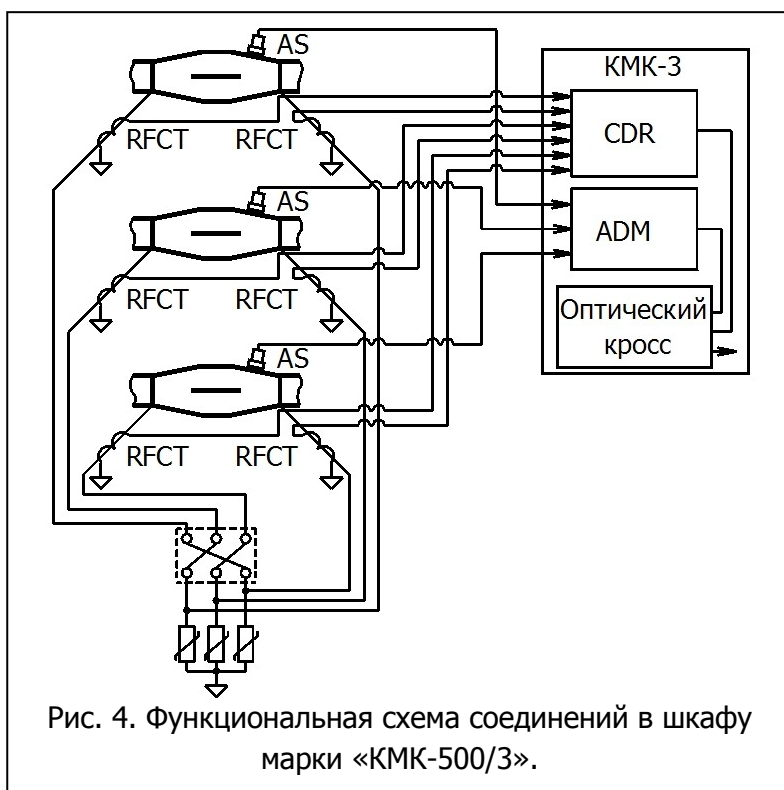


Рис. 4. Функциональная схема соединений в шкафу марки «КМК-500/3».

Для контроля емкостных токов в экранах кабелей на проводниках (шинах) заземления устанавливаются стандартные трансформаторы тока «ТТ», подключенные к измерительным входам прибора «ПАРМА». На этих же проводниках заземления устанавливаются датчики частичных разрядов марки «RFCT», подключаемые к прибору «CDR».

Схема установки датчиков на концевой муфте, приведенная на рисунке 3, соответствует точке кабельной линии, в которой производится

замыкание экранов кабелей на землю.

При помощи оптических линий связи в «КМК-500/2» происходит сбор информации с «промежуточных» шкафов «КМК-500/3» и ее передача в главный шкаф системы мониторинга. Для повышения информативности регистрация сигналов в шкафах «КМК-500/2» синхронизируются по оптической линии или по сигналам системы GPS.

Промежуточный шкаф системы мониторинга марки «КМК-500/3» используется для контроля состояния соединительных муфт и смежных с ними участков кабельной линии. Шкаф монтируется непосредственно на линии, рядом с контролируемыми муфтами.

В шкафу системы

мониторинга марки «КМК-500/3» монтируются приборы контроля состояния муфт, например, типа «ADM». Для контроля состояния изоляции рядом расположенных участков кабельной линии используются приборы типа «CDR», регистрирующие импульсы частичных разрядов при помощи высокочастотных трансформаторов тока типа «RFCT».

При необходимости в шкафу «КМК-500/3» также могут быть установлены измерительные приборы типа «CLM», «ПАРМА» с трансформаторами тока для контроля емкостных токов в экранах, хотя необходимость их установки на переходных пунктах транспозиции экранов кабельной линии не очевидна.

На рисунке 4 приведена наиболее полная схема установки датчиков и измерительных приборов в шкафу «КМК-500/3», смонтированном на пункте транспозиции экранов. На каждой фазной муфте монтируется по одному акустическому датчику, что позволяет контролировать частичные разряды в изоляции.

Высокочастотные датчики тока марки «RFCT» на каждой муфте устанавливаются по два, на поводках заземления каждого кабеля. Это делается для того, чтобы было можно определить, в изоляции какого кабеля возникли частичные разряды – «слева» или «справа» от муфты. Такая функция полезна для диагностики и технически реализована в приборах марки «CDR».

Сложностью установки измерительных датчиков на муфтах и поводках заземления экранов, в пунктах транспозиции экранов, в которых защитное заземление осуществляется через ограничители перенапряжения, является то, что в переходных режимах напряжение на экранах может достигать величины десятка киловольт. Поэтому к изоляции датчиков частичных разрядов и подключенных к ним сигнальных кабелей предъявляются достаточно жесткие требования.

2.1.2. Программное обеспечение мониторинга кабельных линий, экспертиза состояния.

Итоговая эффективность работы системы мониторинга кабельных линий в значительной степени зависит от использованного в ней специализированного программного обеспечения. Чем больше в этом программном обеспечении будет реализовано автоматизированных экспертных алгоритмов и функций, тем выше будет практическая значимость работы всей системы мониторинга.

Кроме того, использование эффективной экспертной (диагностической) системы на верхнем уровне системы мониторинга всегда повышает достоверность получаемых диагностических заключений. С экономической точки зрения одинаково эффективные системы мониторинга могут быть получены двумя путями – путем увеличения количества первичных датчиков и средств первичной обработки сигналов, или же за счет использования экспертной системы, максимально полно анализирующей исходную информацию. Чем более наукоемким и практически ориентированным будет экспертное ядро системы мониторинга кабельных линий, тем меньше может быть стоимость поставки датчиков и других технических средств за счет уменьшения их общего количества.

В состав системы мониторинга кабельных линий «КМК-500» входит специализированное программное обеспечение марки «iNVA-КМК», которое включает в себя набор специальных подпрограмм:

- Подпрограмму для синхронизации процессов регистрации первичных сигналов во всех измерительных приборах, модуль сбора информации с удаленных диагностических датчиков и приборов системы мониторинга.

- Подпрограмму обработки, визуализации, хранения и архивации первичной информации и результатов работы экспертной диагностической системы о техническом состоянии кабельной линии. Данная подпрограмма находится в центральном компьютере системы мониторинга, в шкафу «КМК-500/1».

- Автоматизированную экспертную программу «КМК-Expert», формирующую комплексное диагностическое заключение о техническом состоянии линии, и выявленных дефектов, получаемое на основе первичной и уже обработанной информации от всех

приборов комплексной системы мониторинга. На основании частных диагностических заключений, получаемых в отдельных приборах, в «КМК-Expert» формируется итоговое диагностическое заключение о состоянии всех кабельных линий. Такие рекомендации экспертной программы могут быть использованы для формирования управляющих воздействий на эксплуатацию, обслуживание и ремонт контролируемых кабельных линий.

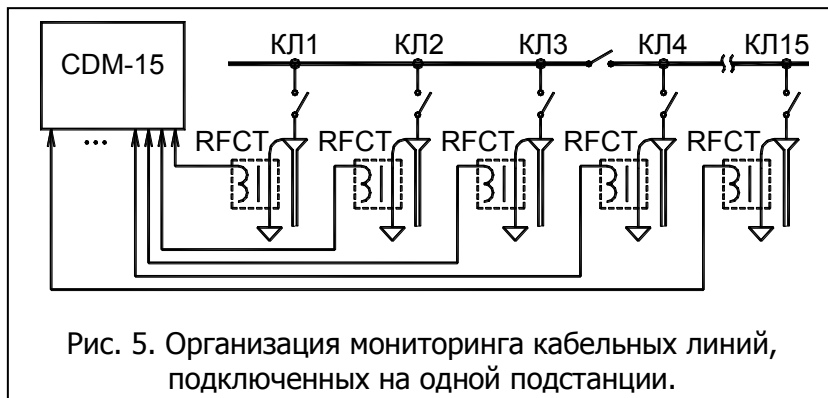
- Набор современных протоколов (МЭК 61850) и интерфейсов для обмена информацией с системой АСУ-ТП, обеспечивающих работу в условиях объекта с высоким уровнем внешних помех. Для организации каналов связи предпочтение отдается оптоволоконным линиям связи, наименее подверженным влиянию высокочастотных помех и импульсных перенапряжений.

- Для удобства работы с системой мониторинга кабельных линий в составе программного обеспечения имеется графический конструктор, предназначенный для создания схем КЛ, при помощи которого максимально подробно описывается контролируемый объект. С его помощью задается структура кабельной линии, марки муфт, сроки монтажа, длины участков кабеля, наличие пунктов суперпозиции, условия прокладки линии по участкам и т. д. Вся эта информация необходима для корректного формирования диагностических заключений.

2.2. Мониторинг кабельных линий с рабочим напряжением 6 ÷ 35 кВ.

2.2.1. Мониторинг локальной группы кабельных линий, подключенных на одной подстанции.

Для контроля состояния нескольких кабельных линий 6 – 10 кВ, подключенных на одной подстанции к ячейкам одного КРУ (КРУЭ), может быть использована наиболее простая модификация «КМК», состоящая только из одного прибора марки «CDM». Структура ее показана на рисунке 5. На поводке заземления экрана каждой кабельной линии (фазы кабельной линии) монтируется по датчику марки «RFCT-7», подключаемому к прибору марки «CDM». К одному такому прибору может быть подключено 15, 30 и даже 45 датчиков, в зависимости от его модификации. Итоговая информация о текущем состоянии кабельных линий из прибора «CDM» передается в шкаф «КМК-1», или в общую систему АСУ-ТП предприятия.



При помощи такой системы мониторинга контролируется наличие частичных разрядов в кабельных линиях, при помощи экспертной системы определяется тип дефекта, возникшего в изоляции, производится локализация места его расположения. Локализация места возможна

в том случае, когда дефект в изоляции кабеля или муфт разовьется достаточно сильно, и прибором удастся зарегистрировать «прямой» и «отраженный» импульсы от разрядов в зоне дефекта. Обычно это возможно реализовывать для кабельных линий длиной не более 1 км. Для линий большей длины локализация места возникновения дефекта данным методом затруднена.

Из недостатков такой «бюджетной» системы мониторинга кабельных линий можно отметить то, что регистрация импульсов частичных разрядов в кабельных линиях ведется не непрерывно, а последовательно по всем измерительным каналам, с интервалом в несколько минут. В большинстве случаев это достаточно для своевременной диагностики дефектов в изоляции.

Вместо прибора марки «CDM-15» в такой конфигурации системы мониторинга кабельных линий можно использовать более эффективный измерительный прибор марки

«CDU-12», в котором регистрация частичных разрядов по всем 12 измерительным каналам производится одновременно (синхронно), что важно для диагностики очень быстро развивающихся дефектов в RIP изоляции, или в системах с управлением фазными напряжениями. Такой режим регистрации также позволяет более эффективно отстраиваться от внешних высокочастотных помех.

2.2.2. Мониторинг распределенной системы кабельных линий, объединяющих несколько подстанций и потребителей 6 ÷ 35 кВ.

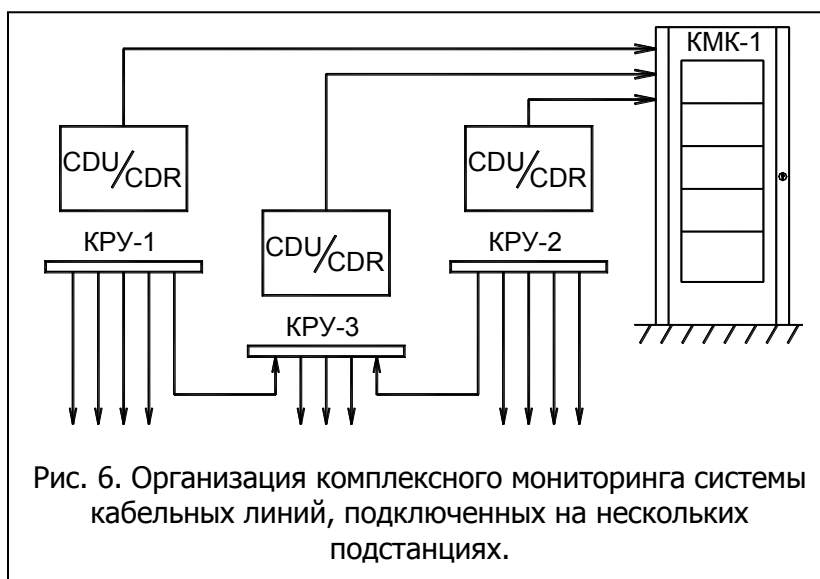
На многих крупных предприятиях существует сложная распределенная система высоковольтных кабельных линий, обеспечивающая энергоснабжение большого количества мощных потребителей, подключенных к нескольким распределительным подстанциям. При организации системы мониторинга такой распределенной сети кабельных линий возможны два методических подхода, различающихся используемыми технически и алгоритмическими возможностями:

- Создание совокупности локальных (не связанных между собой) систем мониторинга групп кабельных линий, подключенных к ячейкам одного распределительного устройства. Организация такой системы мониторинга кабельных линий, выполненной с использованием приборов «CDM» и «CDU» описано выше. При таком подходе процесс анализа первичной информации и формирование диагностических заключений проводится в каждом узле кабельной сети независимо, поэтому результаты работы локальных систем мониторинга прямо не связаны между собой.

- Комплексный мониторинг всей совокупности кабельных линий предприятия, учитывающий взаимные кабельные связи между распределительными подстанциями. В этом случае диагностика всех кабельных линий производится «с двух сторон», двумя диагностическими приборами. Для реализации такого подхода к диагностике на первом этапе производится интеграция первичной информации от нескольких приборов, и только потом производится диагностика состояния кабельных линий. Достоинством комплексного подхода к организации мониторинга системы кабельных линий является более точная детализация типов дефектов, и их лучшая локализация.

Технически комплексная распределенная система мониторинга нескольких групп взаимосвязанных кабельных линий по частичным разрядам может быть создана с использованием измерительных приборов марки «CDU» и «CDR».

Обязательным условием для создания комплексной распределенной системы



мониторинга кабельных линий является необходимость полной синхронизации работы всех измерительных приборов системы с очень высокой точностью, в идеале в десятки нс, но не хуже 100 нс. Только в этом случае появляется возможность точной локализации дефектов в кабельных линиях, объединяющих между собой все распределительные подстанции.

Максимальную точность локализации дефектов можно получить, если все

высоковольтные распределительные подстанции объединить при помощи оптоволоконных информационных линий, связывающих между собой, и со шкафом «КМК-1» все измерительные приборы. Если прокладку синхронизирующих линий связи невозможно

выполнить по техническим, или иным причинам, то работу всех измерительных приборов комплексной системы мониторинга можно синхронизировать по сигналам системы GPS, передающим точное время. Возможность приема сигналов глобального времени реализована в приборах марки «CDR», в которые уже встроен приемник системы глобального позиционирования (GPS).

Обобщенное программное обеспечение мониторинга, диагностики, и экспертной оценки технического состояния совокупности всех контролируемых кабельных линий располагается в центральном компьютере, находящемся в шкафу марки «КМК-1», интегрирующим информацию от всех первичных измерительных приборов комплексной распределенной системы мониторинга. Именно здесь формируются все диагностические заключения, даются рекомендации по управлению эксплуатацией контролируемых кабельных линий.

2.3. Мониторинг кабельных линий 110 – 500 кВ.

Кабельные линии высокого и сверхвысокого уровня рабочих напряжений являются наиболее дорогими и ответственными, поэтому к организации их мониторинга и диагностики подходят очень внимательно, максимально используя все возможные технические и программные средства.

Наиболее полная поставка комплексной системы мониторинга марки «КМК-500» предназначена для контроля технического состояния кабельных линий до 500 кВ с использованием трех взаимодополняющих методов.

Такая система мониторинга включает в себя:

- Оборудование для контроля режимов работы кабельной линии по профилю распределенной температуры.
- Оперативную диагностику состояния и дефектов в изоляции муфт и кабеля на основе регистрации и анализа частичных разрядов.
- Контроль значений емкостных и наведенных промышленных токов, протекающих в экранях кабельной линии для выявления повреждений оболочки.

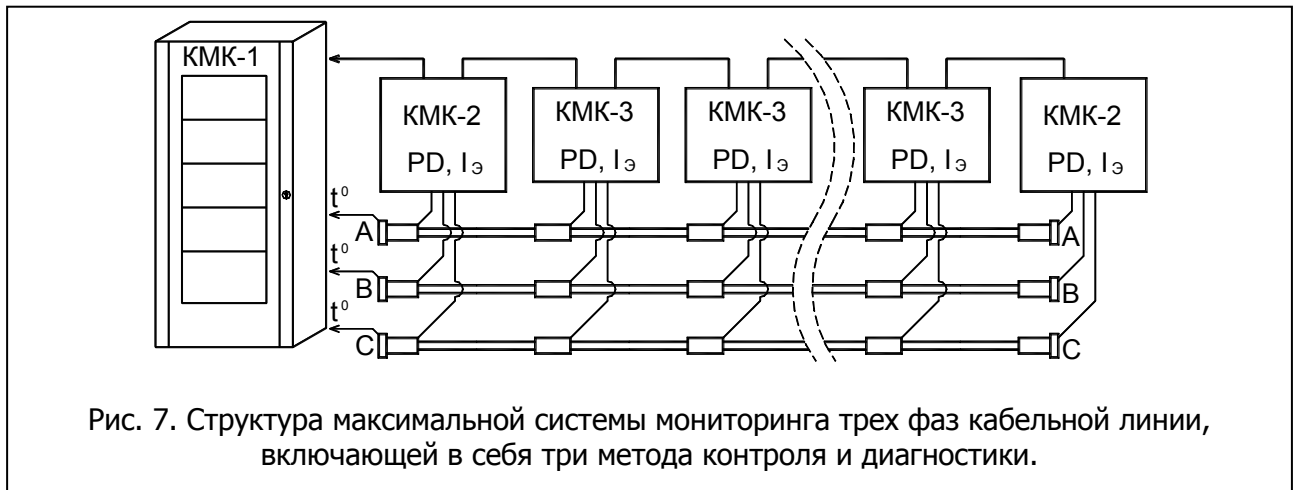
Технические средства, используемые в комплексной системе мониторинга марки «КМК-500» для реализации каждого из перечисленных выше методов диагностики, могут отличаться в каждом техническом проекте, все зависит от тех требований, которые предъявляются к системе мониторинга, и от параметров самой кабельной линии. Диагностическое оборудование (приборы контроля параметров) может иметь различные модификации, и может быть использовано от различных фирм, производителей технических средств.

Стандартная поставка системы «КМК-500» предназначена для контроля двух параллельных высоковольтных кабельных линий, состоящих из шести однофазных кабелей. При необходимости может быть поставлена система для контроля одной кабельной линии (три однофазных кабеля), или для большего количества кабельных линий. Все используемые в такой поставке технические средства производятся отечественными фирмами «ДИМУС» и «Инверсия-Сенсор».

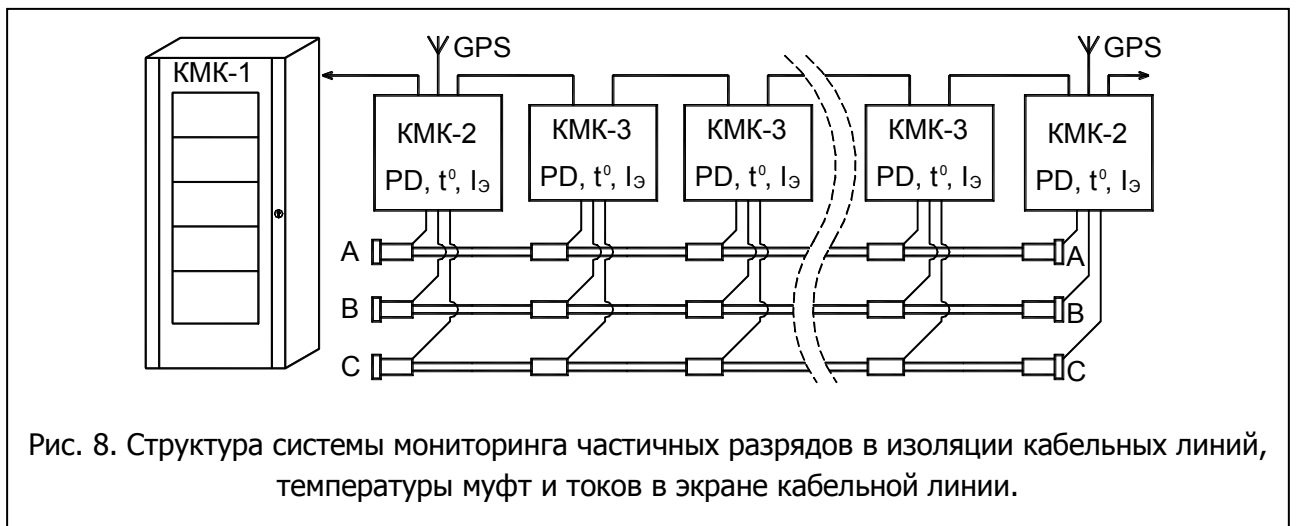
Допустимая максимальная длина контролируемой кабельной линии, при стандартной поставке системы «КМК-500», составляет до 8 км, что определяется условиями работы системы температурного мониторинга. Для мониторинга кабельных линий большей длины необходимо использовать систему «ASTRO E58» (производства фирмы «Инверсия-Сенсор») с более мощным лазером. В этом случае допустимая длина контролируемой кабельной линии возрастает до 16 км, и даже до 32 км, если измерительные приборы устанавливать на двух сторонах кабельной линии.

Для организации полноценного мониторинга длинной кабельной линии по частичным разрядам вдоль линии необходимо располагать дополнительные измерительные приборы. Это обусловлено тем, что частичные разряды, двигаясь по кабельной линии, достаточно быстро затухают. Реальное максимальное расстояние, которое импульсы частичных разрядов могут преодолеть, редко превышает 2 км.

На рисунке 7 приведена принципиальная схема системы мониторинга, в которой прибор системы температурного контроля марки «ASTRO» располагается в шкафу «КМК-500/1». В этом же шкафу располагается основная система контроля частичных разрядов в кабельной линии. Если расстояние от центрального шкафа системы мониторинга до кабельной линии достаточно велико, то эти измерительные и диагностические приборы монтируются в шкафу марки «КМК-500/2».



Структура системы мониторинга, показанная на рисунке 8, предназначена только для диагностики дефектов в изоляции кабельной линии, поэтому включает в себя только приборы регистрации частичных разрядов и токов в экранах кабелей, и не включает прибор распределенного температурного контроля. При помощи системы мониторинга такой конфигурации также может контролироваться температура, но не всей кабельной линии, а только соединительных и концевых муфт.



Место возникновения дефекта в изоляции работающей кабельной линии определяется по разнице времени прихода импульса частичного разряда к двум приборам, расположенным по концам контролируемой кабельной линии. Синхронизация процесса регистрации частичных разрядов в концевых шкафах «КМК-500/2» может производиться не только по оптической линии связи, но и по сигналам системы GPS, что предусмотрено в приборах марки «CDR». Это дает возможность в системах мониторинга кабельных линий сравнительно небольшой длины обойтись без соединительной оптической линии,

проложенной вдоль кабельной линии. Для линий большой длины такой способ синхронизации процессов измерений является единственно возможным.

Промежуточные шкафы «КМК-500/3» системы контроля изоляции монтируются рядом с соединительными муфтами, и располагаются вдоль кабельной линии. Информационно эти шкафы объединяются в общую систему оптической линией, которая также используется и для синхронизации процессов измерения частичных разрядов, что особенно важно для точной локации мест возникновения дефектов в линии.

Питание измерительных приборов распределенной системы мониторинга, смонтированных в шкафах «КМК-500/3», обычно производится по специально проложенной вдоль контролируемого кабеля линии питания. Если проложить такую линию нет возможности, то используются специализированные локальные блоки питания «PST», основанные на использовании модифицированных (разъемных) трансформаторов тока. Эти трансформаторы тока монтируются поверх оболочки кабельной линии, или на шинах заземления экранов кабелей.

При малых значениях емкостных токов энергия для работы измерительных приборов накапливается в блоках питания «PST» постепенно, до величины, достаточной для проведения полного замера параметров и передачи информации в систему «КМК». При необходимости блоки питания «PST» дополняются солнечными панелями, которые повышают эффективность работы измерительных приборов системы мониторинга, проведения измерений и анализа параметров кабельной линии.

3. Технические средства для организации мониторинга высоковольтных кабельных линий.

В данном разделе кратко рассмотрены технические параметры и возможности различных измерительных и диагностических приборов, на основе которых обычно строится система «КМК-500».

3.1. Оптоволоконная система «ASTRO» для мониторинга температурных режимов работы кабельной линии.



Рис. 9. Оптический регистратор «ASTRO E54».

Оптоволоконная система мониторинга «ASTRO» предназначена для непрерывного контроля температуры нагрева силового кабеля. Система включает датчик измерения температуры и прибор-регистратор для обработки и интерпретации данных мониторинга. Прибор-регистратор позволяет производить измерение температуры в кабельных линиях длиной до 8 км (16 км для прибора марки «ASTRO E58»). Время проведения одного измерения температуры зависит от длины кабельной линии, и не превышает нескольких минут.

Система мониторинга включает в себя:

- Регистратор температуры марки «ASTRO E54» («ASTRO E58»), стационарный, одноканальный. Регистратор выполняет функцию головного устройства системы мониторинга, связанную с приемом и обработкой информации о распределении температуры нагрева силового кабеля.

- Коммутатор оптических сигналов, необходимый для последовательного подключения к входу регистратора оптических волокон, проложенных в разных фазах контролируемой кабельной линии. Обычно оптический мультиплексор, для удобства монтажа, встраивается внутрь измерительного прибора.

- Оптическое волокно, 2 жилы (с резервом), с допустимой температурой эксплуатации до 300°C. Волокно предназначено для мониторинга температуры вдоль изоляционной оболочки кабеля. Волокно закладывается внутрь силового кабеля (под внешней оболочкой)

Марка	Волокно	Каналов	Длина
E540	М	1	8 км
E542	М	4	8 км
E543	М	8	8 км
E544	М	16	8 км
E580	М	1	16 км
E582	М	4	16 км
E583	М	8	16 км
E584	М	16	16 км

в процессе его производства.

Регистратор ASTRO E54 измеряет температуру в реальном времени вдоль чувствительного элемента – оптоволоконного кабеля. Основное достоинство системы – чувствительный элемент системы температурного мониторинга не подвержен влиянию электромагнитного возмущения

Технические характеристики

регистратора «ASTRO E54»:

- Диапазон измерения температуры -55..+400С⁰.
- Время измерения от 5 сек.
- Точность измерения от 1⁰С.
- Пространственное разрешение от 1 м.
- Длина чувствительного элемента до 8 км.
- Длина волны излучения лазера 1550 нм.
- Тип волокна – ММ.

3.2. Системы мониторинга и диагностики кабельных линий по частичным разрядам.

Системы мониторинга частичных разрядов различаются своими параметрами и количеством измерительных каналов.

3.2.1. Система мониторинга и диагностики марки «CDM-30» для кабельных линий 6 ÷ 35 кВ.

Система мониторинга марки «CDM-30» (Cables Diagnostics Monitor, 30 Channel) предназначена для постоянного контроля технического состояния изоляции до 30 (45)



Рис. 10. Внешний вид прибора марки «CDM-30».

кабельных линий 6 ÷ 10 кВ под рабочим напряжением. Все контролируемые кабельные линии должны быть подключены (через выключатели) на одном КРУ, чтобы соединительные сигнальные кабели от датчиков до измерительного прибора не превышали 60 метров.

Использование многоканальной системы мониторинга «CDM-30» позволяет снизить общие затраты на систему мониторинга и диагностики, рассчитываемые на один контролируемый кабель. С другой стороны, возможность проведения одновременного анализа частичных разрядов по нескольким каналам позволяет более эффективно отстраиваться от наводок высокочастотных помех на

контролируемое оборудование, которые в условиях больших КРУ очень значительны.

В «CDM-30» контроль технического состояния высоковольтной изоляции кабельных линий, соединительных и концевых муфт, осуществляется на основе метода регистрации и анализа частичных разрядов, который имеет максимально высокую чувствительность для диагностики дефектов в изоляции любого типа.

Достоинства использования системы марки «CDM-30» для организации непрерывного мониторинга:

- Одновременно контролируется состояние от 15 до 30 кабельных линий, подключенных в одном месте.

- Состояние кабельных линий контролируется не одномоментно, а постоянно, во всех наиболее важных режимах работы.

- На основании анализа полученной информации системой вырабатываются оперативные диагностические решения, и даются рекомендации по дальнейшей эксплуатации кабельных линий.

При помощи «CDM-30» реализуются следующие функции диагностики:

- Осуществляется непрерывный контроль состояния изоляции высоковольтной кабельной линии на основе метода регистрации и анализа уровня и распределения частичных разрядов. Определяется тип дефекта в изоляции, анализируется степень его развития и опасности для дальнейшей эксплуатации.

- Производится автоматическая локализация мест возникновения дефектов в изоляции, выявленных системой по частичным разрядам, как в муфтах, так и в самом кабеле. Уникальность этой важной диагностической функции в данном случае заключается в том, что она реализована для кабельных линий в режиме «on-line», т. е. под рабочим напряжением.

Оперативная диагностика технического состояния изоляции контролируемых кабельных линий осуществляется внутри прибора в режиме реального времени, при помощи встроенных алгоритмов. При достижении заданных пороговых значений информация о критическом состоянии кабелей отображается на крышке монтажного шкафа прибора при помощи красных светодиодов. По итогам работы в программе мониторинга (в компьютере) автоматически формируются протоколы состояния всех кабельных линий.

Для практической организации мониторинга состояния кабельных линий необходимо на всех кабельных линиях, состояние которых предполагается контролировать системой мониторинга, на поводках заземления концевых муфт, заранее смонтировать первичные датчики частичных разрядов марки «RFCT-7». Прибор «CDM-30», при помощи коаксиальных кабелей одинаковой длины, подключается к первичным датчикам.

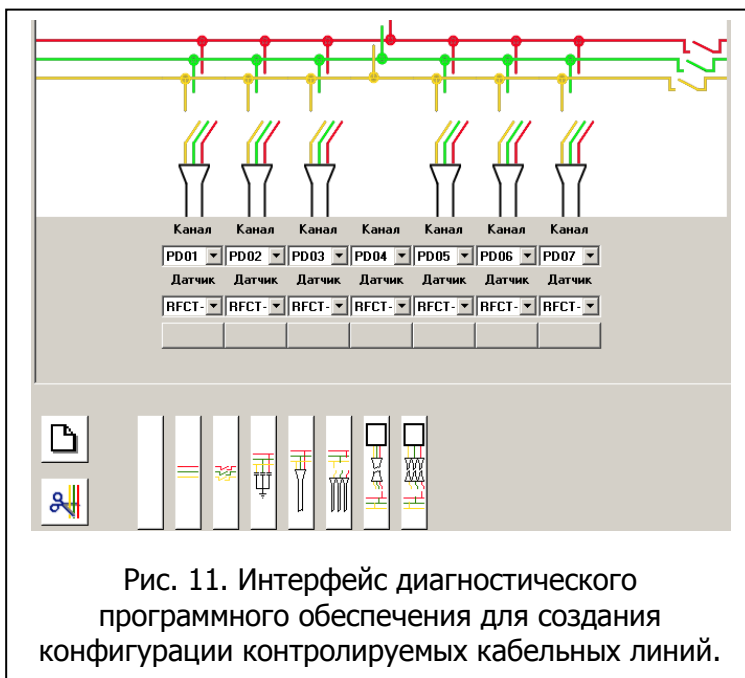


Рис. 11. Интерфейс диагностического программного обеспечения для создания конфигурации контролируемых кабельных линий.

Для полноценной работы прибора «CDM-30» в экспертном и диагностическом режиме необходимо заранее сформировать «схемную конфигурацию» контролируемой кабельной сборки на контролируемом распределительном устройстве. Эта конфигурация создается пользователем в компьютере, а затем загружается в прибор перед началом работы системы мониторинга.

Для создания схемной конфигурации применяется специальная программа – конструктор, позволяющая рисовать схемы кабелей и места установки датчиков быстро, максимально просто и эффективно. При создании

конфигурации контролируемых кабелей вводится вся техническая информация, необходимая для выявления дефектного кабеля, оценки его технического состояния, определения типа дефекта в изоляции и его опасности.

Наиболее сложной задачей при проведении регистрации частичных разрядов в высоковольтных кабельных линиях является отстройка от помех, из-за которых чувствительность систем мониторинга падает в десятки и даже сотни раз.

Для решения этого вопроса - выявления дефектов на ранних стадиях развития в приборе «CDM-30» реализован набор самых современных средств отстройки от внешних помех. Он включает в себя алгоритмы:

- Совместный анализ времени возникновения импульсов и фазы питающего напряжения.

- «Time of arrival» - отстройка от помех по времени прихода импульсов от разных кабельных линий, с разрешением в единицы наносекунд.

- Амплитудная «разборка импульсов» разрядов, предназначенная от удаления из рассмотрения импульсов, наведенных из соседних кабельных линий.

- Анализ частотных свойств каждого импульса, позволяющий разделять случайные импульсы помех и повторяющиеся импульсы частичных разрядов.

- Для повышения информативности всех диагностических заключений в приборе дополнительно производится измерение температуры и влажности воздуха в помещении контролируемого КРУ.

Второй важной задачей встроенных алгоритмов является определение типа дефекта в изоляции кабельной линии, т. е. определение степени его опасности. Это осуществляется благодаря встроенной в прибор системе «PD-Expert», при помощи которой автоматически производится оценка не только уровня частичных разрядов, но и определяется тип конкретного дефекта в изоляции кабельной линии. Возможности системы «PD-Expert» позволяют даже разделить несколько однотипных дефектов, находящихся в разных местах одного кабеля.

В приборе «CDM-30» реализована функция локации места возникновения дефекта в линии. В качестве зондирующего используется импульс от частичного разряда, возникшего на месте дефекта изоляции. Если в линии нет импульсов достаточной амплитуды, то в качестве зондирующего импульса могут быть использованы импульсы от «наведенной внешней помехи». Наличие в приборе встроенного «on-line» рефлектометра еще в большей степени расширяет диагностические возможности системы.

Стандартная поставка системы мониторинга кабельных линий включает:

- Прибор в защитном шкафу, со светодиодами на лицевой панели (опция).

- Набор первичных датчиков частичных разрядов, определяемый в соответствии с требованиями заказчика.

- Сигнальные кабели для датчиков длиной по 15 метров.

Для измерения частичных разрядов в комплекте с прибором могут поставляться следующие датчики:

- Датчики марки «RFCT-7» разъемной конструкции допускающие протекание через них больших токов промышленной частоты,



Рис. 12. Датчики для систем мониторинга кабельных линий.

закрывающиеся по экранам кабелей. Такие датчики монтируются на поводках заземления экранов кабеля.

- Электромагнитные датчики марки «TEV» для «магнитного» монтажа на поверхности распределительных шкафов КРУ. Используются там, где нельзя применять датчики типа «RFCT».

Выбор необходимых датчиков для создания конкретной системы мониторинга определяется типом контролируемых кабельных линий и условиями их монтажа в КРУ.

Датчики марки «RFCT-7» имеют разъемную конструкцию и внутреннее окно, через которое будет проходить проводник заземления экрана кабельной линии размером 34 * 34 мм. Датчики марки RFCT (высокочастотные трансформаторы тока) могут регистрировать

частичные разряды в проводниках, по которым могут протекать токи промышленной частоты большой амплитуды, до 1000 А. Они специально рассчитаны на использование в системах мониторинга изоляции кабельных линий. Если размеры заземляющего проводника (шины) кабельной линии не позволяют использовать датчик «RFCT-7», то можно применять разъемный датчик марки «RFCT-4», внутреннее окно которого имеет диаметр 67 мм.

Если при помощи «CDM-30» планируется контролировать состояние изоляции шин, то необходимо использовать специализированные конденсаторы связи «СС», которые монтируются на двух сторонах сборных шин. Конструкция конденсаторов связи позволяет использовать их вместо опорных изоляторов шин.

Интерфейсы связи, реализованные в системе «CDM-30»:

- Гальванически изолированный интерфейс RS-485.
- Сетевой интерфейс Ethernet для включения в локальную вычислительную сеть.
- Интерфейс USB для передачи зарегистрированных данных в переносной компьютер.

Технические параметры «CDM-30»

Параметр	Значение
Количество контролируемых линий	до 30
Рабочее напряжение линий, кВ	> 3
Длина контролируемых линий, км	≤ 4
Частота импульсов разрядов, МГц	0,5÷15,0
Величина разрядов, пКл	20÷100000
Погрешность расчета места дефекта	±1% длины
Интерфейс связи с компьютером	RS-485, Eth.
Напряжение питания, В AC/DC	90÷260
Диапазон рабочих температур, °С	-40÷+60
Размеры монтажного шкафа, мм	700*500*250
Вес шкафа с прибором, кг	20

3.2.2. Система мониторинга «CDU-12» для кабельных линий до 110 кВ.

Для более эффективного контроля кабельных линий, проводимого в режиме реального времени, используется двенадцати канальная система «CDU-12». Она предназначена для непрерывного контроля технического состояния изоляции до 12 кабельных линий под рабочим напряжением, расположенных на одном объекте (КРУ). При необходимости система мониторинга марки «CDU» может быть поставлена с большим количеством измерительных каналов.



Рис. 13. Внешний вид прибора марки «CDU».

В качестве датчиков частичных разрядов в системе «CDU-12» чаще всего используются высокочастотные трансформаторы тока марки «RFCT-7», хотя могут быть использованы датчики и других типов.

В системе мониторинга марки «CDU-12» осуществляется контроль состояния изоляции высоковольтной кабельной линии на основе регистрации и анализа уровня ЧР, и производится автоматическая локализация мест возникновения дефектов в изоляции, выявленных системой по частичным разрядам, как в муфтах, так и в самом кабеле. Встроенные в систему современные алгоритмы отстройки от помех реализованы на аппаратном уровне, позволяя устранить влияние до 95%, и более, внешних высокочастотных импульсов.

Основное функциональное отличие системы мониторинга марки «CDU-12» от системы мониторинга «CDM-30» заключается в том, что в «CDU-12» измерения частичных разрядов в

кабельных линиях по всем 12 измерительным каналам производится непрерывно, в режиме реального времени, а в системе «CDM-30» это производится по всем каналам последовательно, при помощи внутреннего коммутатора. Использование непрерывного контроля позволяет повысить надежность и эффективность работы систем мониторинга, установленных на наиболее ответственных кабельных линиях.

3.2.3. Система мониторинга марки «CDR» для кабельных линий с напряжением 110 ÷ 500 кВ.

При помощи системы «CDR» реализуются следующие функции мониторинга:

- Осуществляется непрерывный контроль состояния изоляции высоковольтной кабельной линии на основе метода регистрации и анализа уровня и распределения частичных разрядов. Определяется тип дефекта в изоляции и степень его развития.
- Производится автоматическая локализация мест возникновения дефектов в изоляции, выявленных системой по частичным разрядам, как в муфтах, так и в самом кабеле. Уникальность этой важной диагностической функции в системе заключается в том, что она реализована для кабельной линии, находящейся под рабочим напряжением.
- Непрерывное контактное измерение рабочей температуры фаз кабельной линии (концевых муфт), расположенных рядом с измерительным прибором системы мониторинга.
- Контроль величины уравнивающих фазных токов, протекающих по экрану (броня) кабельной линии при помощи дополнительного датчика тока. Появление уравнивающих токов отрицательно сказывается на нагрузочной способности линии из-за увеличенной температурной нагрузки на изоляцию.



Рис. 14. Система мониторинга марки «CDR».

С системой «CDR» можно использовать датчики двух типов, выбор зависит от конструкции и условий монтажа линии.

- Датчики марки «CDR-S». Эти комплексные датчики частичных разрядов и температуры соединительных муфт монтируются непосредственно на поверхности кабеля. Датчик марки «CDR-S» обычно представляет собой гибкое металлизированное кольцо шириной до 200 мм, которыми оборачивается внешняя поверхность кабеля, рядом с концевой или соединительной муфтой. Благодаря такой разъемной конструкции монтаж датчика на кабеле не представляет большой сложности.

Датчик работает в UHF диапазоне частот, поэтому имеет максимальную чувствительность к «рядом расположенным» дефектам. То есть он хорошо будет регистрировать частичные разряды в муфте, на которой он установлен, но к «удаленным дефектам» его чувствительность понижена. Это объясняется интенсивным затуханием высокочастотных импульсов в кабельной линии.



Рис. 15. Датчик частичных разрядов марки «RFCT-7».

- Датчики марки «RFCT-7». Это датчики трансформаторного типа, предназначенные для регистрации высокочастотных импульсов в проводе, заземляющем броню кабеля. Конструктивно датчик «RFCT-7» представляет собой две разъемные половинки, которые легко монтируются на проводниках заземления экрана кабеля, или корпуса соединительной муфты. Благодаря разъемной конструкции установка датчика «RFCT-7» производится без разрыва цепей заземления. Датчик работает в HF диапазоне частот, поэтому он чувствителен к дефектам, которые могут располагаться от него на удалении до нескольких км. При этом чувствительность к «близким» дефектам у «RFCT-7» будет ниже, чем у датчика «CDR-S».

Особенности регистрации и анализа импульсов частичных разрядов в кабельных линиях, реализованные в системе «CDR».

В качестве устройства регистрации и анализа параметров кабельных линий в системе мониторинга «CDR» использован универсальный шестиканальный измерительный прибор. Это современный и эффективный прибор регистрации частичных разрядов.

Его функциональными особенностями являются:

- Возможность регистрации импульсов частичных разрядов в очень широком диапазоне частот, от 50 кГц до 1 ГГц. Использование такого диапазона частот связано с тем, что импульсы ЧР, перемещаясь по линии, уменьшаются по амплитуде и увеличиваются по длине. Если импульс возник рядом с датчиком, то его частота будет очень высокой, равной сотням МГц. Частота «удаленного импульса» может составлять «всего» сотни кГц. Чем длиннее линия, тем более низкочастотные импульсы ЧР могут быть зарегистрированы в ней.

- В систему мониторинга марки «CDR» встроены два современных метода локализации места возникновения дефекта в изоляции кабельной линии. Один работает независимо на основе анализа рефлектограмм распределения импульсов частичных разрядов в линии, а второй анализирует разницу по времени прихода высокочастотного импульса от дефекта к «концам» контролируемой кабельной линии.

- В системе «CDR» реализована экспертная диагностическая система «PD-Expert», позволяющая в автоматическом режиме определять тип дефекта в изоляции, и степень его развития. Для реализации такого уникального набора функциональных возможностей в системе «CDR» использованы специфические технические решения:

Во-первых, это то, что регистрация импульсов частичных разрядов во всех шести измерительных каналах прибора «CDR» производится полностью синхронно. Только в этом случае возможна реализация всех вышеперечисленных диагностических алгоритмов.

Во-вторых, если система мониторинга создается для контроля нескольких кабельных линий, то ее приходится создавать, используя несколько приборов марки «CDR». В этом случае задача синхронизации измерений частичных разрядов становится глобальной.

Такая синхронизация процессов регистрации частичных разрядов в удаленных друг от друга приборах может быть осуществлена двумя способами. При расстояниях до 1 км синхронизация осуществляется при помощи оптических линий связи. По этим линиям будут

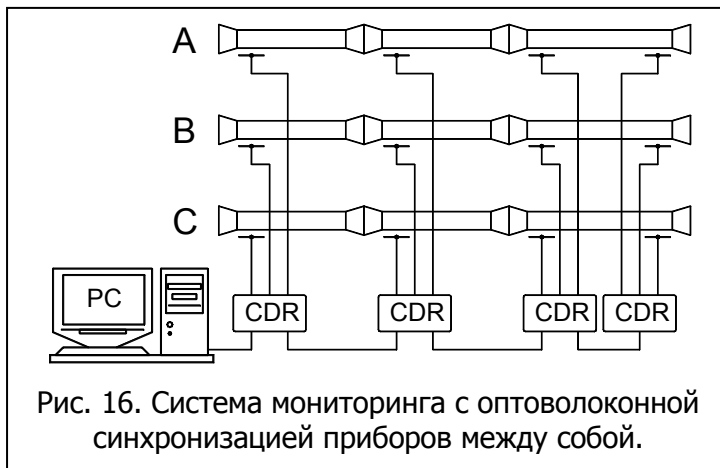


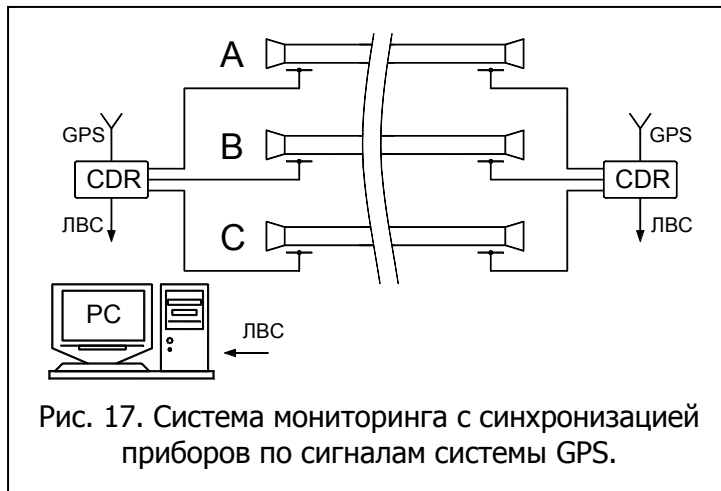
Рис. 16. Система мониторинга с оптоволоконной синхронизацией приборов между собой.

посылаться синхронизирующие импульсы, а также проводиться обмен информацией. Если длина линии более одного км, или отсутствует возможность прокладки оптической линии, то измерения можно синхронизировать по сигналам системы GPS/GLONASS. Для этого во все приборы встроены приемники сигналов GPS.

На рисунке 16 приведена структурная схема системы мониторинга кабельной линии с двумя соединительными муфтами в каждой

фазе. Полностью система мониторинга состоит из 4 приборов марки «CDR» и компьютера со специальным программным обеспечением. Поскольку расстояние не очень значительно, и существует техническая возможность прокладки оптической линии связи, то она используется для синхронизации процесса измерения.

Система мониторинга кабельной линии с синхронизацией по сигналам GPS приведена на рисунке 17. В ней для контроля состояния длинных кабельных линий и локализации мест возникновения дефектов используются сигналы системы глобального позиционирования GPS. Передача информационных потоков в этом случае производится по обычным



информационным каналам, которые на рисунке не показаны. Это доступные локальные сети предприятий, глобальные сети, и любые другие альтернативные каналы передачи информации.

Подключение «CDR» к общей системе АСУ-ТП может осуществляться несколькими способами:

- При помощи оптической линии связи.
- При помощи изолированного интерфейса RS-485.

Для осуществления общего мониторинга и диагностики, как одной

линии, так и нескольких, в комплекте с приборами поставляется программное обеспечение марки «iNVA».

Для передачи информации из системы мониторинга в систему АСУ-ТП может быть использован протокол ModBus RTU, или протокол IEC 61850.

Технические данные системы «CDR» для мониторинга состояния кабельных линий

	Параметр	Значение
1	Рабочее напряжение контролируемых кабельных линий, кВ	10 ÷ 500
2	Способ контроля состояния изоляции	Частичные разряды
3	Способ контроля температуры кабельной линии.	Pt100
4	Способ контроля уравнивающих токов в экране кабеля	ТТ
5	Количество контролируемых одной системой кабелей (фаз)	до 6
6	Длина контролируемых кабельных линий одним прибором, м	до 6000
7	Диапазон регистрируемых частичных разрядов, МГц	0,1 ÷ 1000,0
8	Интерфейс связи с системой АСУ-ТП RS-485	Оптоволокно
9	Синхронизация нескольких приборов	GPS, оптоволокно
10	Диапазон рабочих температур, без системы подогрева, °С	-40 ÷ +60
11	Напряжение питание системы, В	AC/DC 120 ÷ 260
12	Габаритные размеры прибора мониторинга, мм	400 * 230 * 110

3.2.4. Система мониторинга марки «ADM-9» для мониторинга муфт кабельных линий.

Система «ADM-9» - контроль изоляции высоковольтного оборудования по частичным разрядам при помощи акустических датчиков.

При помощи системы мониторинга марки «ADM-9» можно контролировать:

- Состояние изоляции концевых и соединительных муфт кабельных линий.
- Состояние изоляции КРУЭ и КРУ различных модификаций.

- Состояние изоляции высоковольтного маслонаполненного оборудования – силовых и измерительных трансформаторов, выключателей и т. д. Система мониторинга «ADM-9» (Acoustic Monitor) предназначена для оперативного контроля технического состояния и поиска дефектов изоляции высоковольтного оборудования под рабочим напряжением. В системе «ADM-9» диагностика осуществляется на основе метода регистрации и анализа частичных разрядов, который имеет максимально высокую чувствительность при поиске дефектов в изоляции любого типа.



Рис. 18. Система акустического мониторинга частичных разрядов в муфтах.

Акустические датчики системы «ADM-9» устанавливаются непосредственно на поверхности контролируемого оборудования, максимально близко к контролируемой зоне изоляции. Обычно это заземленные или изолированные поверхности, корпуса оборудования, на которых отсутствует высокий потенциал. При установке акустических датчиков применяются специальные средства, улучшающие акустический контакт с контролируемым объектом.

Технические и алгоритмические возможности системы «ADM-9».

При помощи системы мониторинга марки «ADM-9» эффективно решаются наиболее важные проблемы диагностики состояния оборудования, непосредственно

влияющие на эксплуатацию высоковольтного оборудования:

- При помощи одного измерительного прибора марки «ADM-9» может производиться контроль активности частичных разрядов в восьми различных точках оборудования, удаленных друг от друга на расстояние до 30 метров.

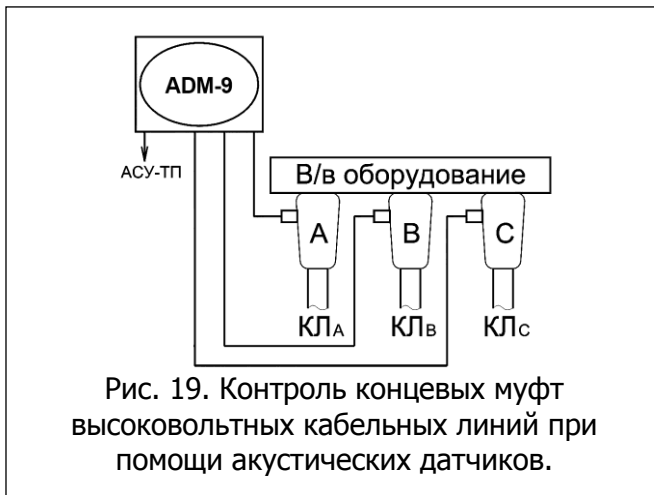


Рис. 19. Контроль концевых муфт высоковольтных кабельных линий при помощи акустических датчиков.

- Благодаря наличию функции синхронной регистрации сигналов по нескольким измерительным каналам, в приборе «ADM-9» проводится локация места возникновения частичных разрядов внутри баков высоковольтного оборудования.

- На основании анализа полученной информации системой вырабатываются оперативные диагностические решения, и даются рекомендации о возможности дальнейшей эксплуатации оборудования.

Мониторинг концевых муфт высоковольтных кабельных линий.

Акустические датчики системы «ADM-9» могут быть эффективно применены для контроля технического состояния концевых, а при необходимости, и наличии технической возможности (наличии сетевого питания в этой зоне), и промежуточных соединительных муфт высоковольтных кабельных линий. Зона чувствительности акустических датчиков обычно не превышает ± 1 метр из-за интенсивного затухания акустических сигналов по длине кабеля, поэтому для контроля состояния изоляции самого кабеля такие датчики не применяются.

Акустические датчики системы «ADM-9» монтируются непосредственно на корпусе контролируемой муфты, или же, если сама муфта конструктивно недоступна, то на разделанной части кабеля, рядом с муфтой, максимально близко к ней. При установке датчика должен обеспечиваться надежный акустический контакт между датчиком и корпусом муфты.

Зарегистрированные акустические импульсы от частичных разрядов обрабатываются и анализируются в приборе «ADM-9», на выходе которого по каждому каналу формируется сигнал, пропорциональный интенсивности частичных разрядов «PDI», учитывающей количество и амплитуду зарегистрированных импульсов частичных разрядов. Полученная информация, и диагностические заключения о состоянии изоляции, оперативно передаются в систему АСУ-ТП более высокого уровня.

Стандартная поставка системы «ADM-9» для мониторинга состояния изоляции по частичным разрядам включает в себя:

- Измерительный прибор «ADM-9» в защитном корпусе.

- Набор акустических датчиков для регистрации частичных разрядов в соответствии с заказной спецификацией.
- Сигнальные коаксиальные кабели длиной по 15 метров для подключения датчиков.
- Инструкция по эксплуатации системы на CD.

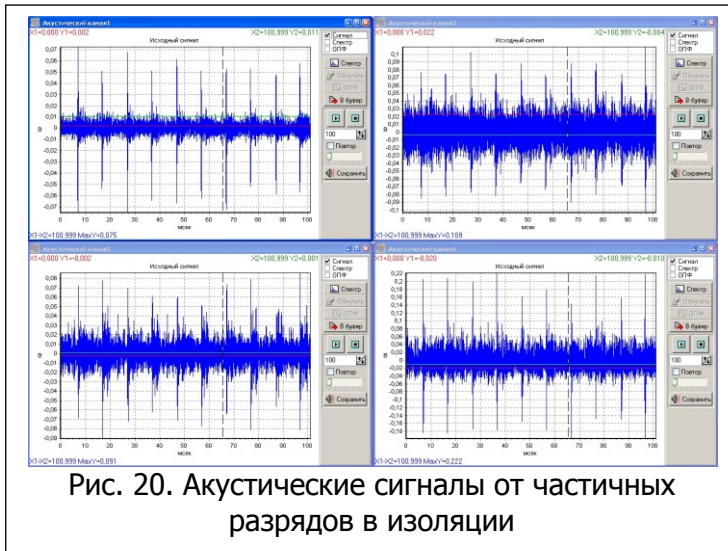


Рис. 20. Акустические сигналы от частичных разрядов в изоляции

- Программное обеспечение «iNVA» для реализации функции мониторинга на персональном компьютере.

Внешние интерфейсы «ADM-9».

Интерфейсы связи, реализованные в системе мониторинга марки «ADM-9»:

- Гальванически изолированный интерфейс RS-485.
- Сетевой интерфейс Ethernet для включения регистрирующего прибора в локальную вычислительную сеть по оптической линии, и передачи информации к компьютеру с программным обеспечением «iNVA».

компьютеру с программным обеспечением «iNVA».

- Интерфейс USB для передачи зарегистрированных данных в переносной компьютер.

Технические параметры прибора «ADM-9»

Параметр	Значение
Количество измерительных каналов	9
Рабочее напряжение оборудования	до 500 кВ
Частота импульсов разрядов, кГц	30÷300
Величина разрядов, пКл	20÷100000
Интерфейс связи с компьютером	RS-485, Eth.
Напряжение питания, AC/DC	90÷260В
Диапазон рабочих температур, °С	-40÷+60
Размеры корпуса прибора, мм	280*260*110
Вес прибора, кг	2,0

3.2.5. Система мониторинга марки «CSM-1» для контроля состояния муфт кабельных линий.

Из двух применяемых на практике методов контроля состояния высоковольтных муфт - измерение температуры, и регистрации частичных разрядов (ЧР), более эффективным является метод регистрации и анализа ЧР в изоляции. Это обусловлено тем, что на высоких напряжениях возникновение и развитие дефектов в изоляции всегда сопровождается появлением ЧР и электрическим пробоем, в то время как тепловые изменения в муфте при высоких напряжениях обычно возникают значительно реже, и также сопровождаются появлением частичных разрядов.

Прибор марки «CSM-1» (Cables Sleeve Monitor) предназначен для комплексного мониторинга состояния изоляции наиболее ответственных, или критических муфт кабельных линий. Он позволяет:

- Регистрировать ЧР в изоляции концевых и соединительных муфт используя датчики UHF (СВЧ) диапазона частот, до 1 ГГц.
- Регистрировать частичные разряды в изоляции самого высоковольтного кабеля, используя датчики HF (ВЧ) диапазона частот, от 0,5 до 15,0 МГц.

- Регистрировать ЧР в изоляции муфты акустическим датчиком, работающие на частотах до 100 кГц.



Рис. 21. Прибор мониторинга состояния муфты кабеля.

- Локализовать место дефекта в кабеле, регистрируя рефлектограмму распространения импульса частичного разряда по кабельной линии.

- Контролировать температуру муфты (кабеля) в месте установки прибора CSM-1.

- Регистрировать ток промышленной частоты, протекающий по экрану кабеля, приводящий к дополнительному нагреву кабеля.

Вся информация от первичных датчиков обрабатывается непосредственно в приборе. По результатам обработки дается оценка:

- технического состояния изоляции муфты;
- технического состояния участка кабеля;
- определяется тип дефекта в изоляции;
- локализуется место возникновения дефекта.

При контроле состояния изоляции кабельных линий с СПЭ изоляцией частичные разряды должны регистрироваться в широком диапазоне частот, от долей МГц и до ГГц. Это является обязательным условием для комплексной диагностики состояния изоляции кабельных линий и соединительных муфт.

Импульсы ЧР, возникающие в СПЭ изоляции, на первом этапе очень высокочастотные. По мере своего перемещения по кабельной линии, они изменяют свою форму, уменьшаясь по амплитуде, и расширяясь по длительности.

Если импульс возник в муфте, рядом с датчиком, то его частота будет очень высокой, равной сотням МГц. Поэтому разряды в муфтах регистрируются в диапазоне UHF. Если же импульс возникает на значительном удалении от датчика, то его частота может составлять «всего лишь» сотни кГц. Чем длиннее кабельная линия, тем более низкочастотные импульсы частичных разрядов могут быть зарегистрированы в ней. Поэтому для контроля изоляции самого кабеля используются датчики, работающие в HF диапазоне частот.

Именно поэтому же локация места возникновения дефекта в изоляции линии производится на основании рефлектограмм, зарегистрированных в кабельной линии в HF диапазоне частот.

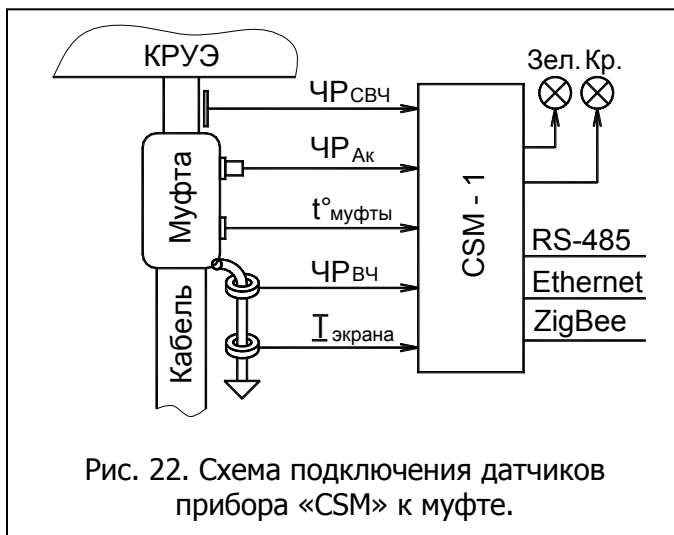


Рис. 22. Схема подключения датчиков прибора «CSM» к муфте.

Для регистрации ЧР в изоляции муфт и кабеля, с прибором «CSM-1» могут быть использованы датчики трех разных типов, все одновременно, два любых, или один, в зависимости от задач, поставленных перед системой мониторинга. На выбор типа используемого датчика (датчиков) больше всего оказывают влияние технические возможности для их установки, различающиеся для различных линий.

Для монтажа UHF датчиков ЧР необходимо наличие доступного «неразделанного» участка кабеля длиной

не менее 30 см, на котором будет монтироваться датчик. Этот участок для датчика должен находиться в непосредственной близости от контролируемой муфты. Датчик UHF диапазона создается на поверхности кабеля чередованием проводящего, изолирующего и экранирующего слоев с выводами для подключения.

Датчик HF диапазона монтируется на проводнике (шине) заземления экрана муфты, и (или) проводнике заземления экрана кабеля. Такой датчик хорошо подходит для контроля изоляции достаточно длинных кабельных линий, до нескольких км, и позволяет достаточно надежно контролировать состояние изоляции муфт. В качестве датчиков HF диапазона частот используются высокочастотные трансформаторы тока, марки RFCT и HFCT.

В том случае, когда нет возможности использовать датчики UHF и HF диапазонов частот, с прибором можно использовать акустические датчики. Существенными недостатками таких датчиков является их направленная и локальная чувствительность, а также низкая помехозащищенность. Обычно акустические датчики фиксируются на поверхности контролируемой муфты при помощи эластичного крепления, или устанавливаются на небольшом расстоянии от муфты.

Наиболее просто вопрос организации питания приборов «CSM-1» решается при их установке для контроля концевых муфт высоковольтных кабелей. В этом случае обычно удается воспользоваться сетевым, или каким-либо другим оперативным напряжением.

При установке приборов на соединительных муфтах, или в случае полного отсутствия напряжения в зоне концевых муфт, возможны три варианта организации энергопитания приборов:

- При подземной прокладке длинных кабельных линий, рядом прокладывается кабель сетевого питания 220В. К нему последовательно будут подключены все приборы. Это кабель будет выполнять две функции – обеспечивать питание, и решать проблему передачи информации на пульт контроля состояния кабельной линии, что окупает все затраты на его прокладку.

- С приборами могут быть поставлены модули питания марки «PST», представляющие собой кольцевые разъемные кольцевые сердечники с обмоткой, изготовленные из электротехнической стали. Такие модули, установленные вокруг кабеля, при протекании по броне достаточно больших токов, от 5А, могут выделить на обмотке энергию, достаточную для работы всех функций прибора. Пока по броне протекает ток, прибор работает.

- Питание прибора «CSM-1» можно осуществлять от батарей большой емкости, достаточной для работы прибора в течение одного года. У такого решения есть два основных недостатка – придется ежегодно проводить обслуживание всех приборов, и из-за ограниченного питания не все функции прибора будут работать в полной мере.

Прибор марки «CSM-1» снабжен набором современных интерфейсов, что позволяет легко интегрировать его в информационную систему более высокого уровня. Коммуникационные возможности прибора:

- Подключение к локальной информационной сети Ethernet для передачи информации при помощи оптического или «медного» кабеля.

- Подключение к локальной сети ZigBee с использованием радиоканала, создание сети передачи данных между приборами.

- Передача информационных данных по сети 220В, предназначенной для питания приборов, с использованием LAN протокола.

- Наличие в приборе гальванически изолированного интерфейса RS-485.

Объем внутренней памяти для хранения данных в приборе «CSM-1» достаточен для хранения результатов измерений и анализа за несколько лет работы, поэтому может производиться периодический сбор зарегистрированной информации с использованием радиоканала.

Комплектность поставки прибора «CSM-1».

В состав стандартной поставки системы марки «CSM-1», предназначенного для мониторинга высоковольтных кабелей и муфт, входит:

- Прибор марки «CSM-1».
- Датчик ЧР для UHF диапазона частот.
- Программное обеспечение мониторинга для персонального компьютера.
- Комплект документации на CD.

В качестве дополнительных опций с прибором марки «CSM-1» могут быть поставлены датчики частичных разрядов и модули питания:

- Датчик марки RFCT-7 для HF диапазона частот.
- Акустический датчик для регистрации частичных разрядов.
- Модуль PST для питания прибора системы мониторинга от токов промышленной частоты, протекающих по экрану кабеля (опция).
- Модуль для организации батарейного питания прибора (опция).

Технические данные прибора «CSM-1» для контроля состояния кабелей и муфт.

	Параметр	Значение
1	Рабочее напряжение кабельной линии, кВ	10 ÷ 500
2	Способ контроля состояния изоляции	Контроль ЧР, Т ⁰ С
3	Количество контролируемых одной системой кабелей (муфт)	1
4	Длина контролируемых кабельных линий одним прибором, м	до 4000
5	Диапазон регистрируемых частичных разрядов, МГц	0,1 ÷ 1000,0
6	Амплитуда регистрируемых высокочастотных импульсов, мВ	от 1,0
7	Интерфейс связи с системой АСУ-ТП	ZigBee, RS-485
8	Диапазон рабочих температур, без системы подогрева, °С	-40 ÷ +60
9	Напряжение питание системы, В	AC/DC 120 ÷ 260
10	Габаритные размеры прибора мониторинга, мм	200 * 180 * 60

3.3. Оборудование для контроля емкостных токов утечки в экранах кабельных линий.

3.3.1. Система мониторинга марки «CLM» для контроля токов утечки в экранах кабельных линий и диагностики повреждений оболочки.

Для контроля емкостных токов утечки в экранах кабельных линий, в которых все три фазы проложены в одной оболочке, могут быть использованы практически любые измерительные приборы, регистрирующие токи промышленной частоты необходимой величины.

Для высоковольтных кабельных линий, где обычно применяются три однофазных кабеля, величина фазных токов в экранах является суммой емкостных токов утечки, и тока наведенного током нагрузки кабельной линии, который сильно зависит от способа прокладки линии. В этих случаях для контроля состояния оболочек фаз кабельной линии необходимо использовать сбалансированную схему измерения токов утечки.

В сбалансированной схеме измерения трехфазных токов контролируются не абсолютные величины токов, а векторная их сумма, точнее говоря контролируется величина вектора небаланса токов. Появление этого тока небаланса в процессе эксплуатации, или даже изменение его величины, может говорить о наличии повреждения оболочки кабельной линии. Это происходит потому, что в местах повреждений оболочки фазных кабелей возникают дополнительные цепи утечки для емкостных токов.

Для контроля величины небаланса фазных токов утечки, возникающих при повреждениях оболочки кабельных линий, применяется измерительный прибор марки «CLM». В приборе реализована сбалансированная схема измерения трех фазных токов.

На три входа прибора подключают три датчика, предназначенных для контроля токов утечки трех фаз высоковольтного кабеля. Входы прибора предназначены для измерения сравнительно небольших токов утечки, а единицы ампер, но имеют эффективную защиту от импульсных коммутационных и пусковых токов, величины которых могут быть на три порядка больше.

При начальном включении прибора «CLM» производится балансировка входных цепей прибора таким образом, чтобы ток небаланса отсутствовал. Если теперь в процессе эксплуатации кабельной линии прибором будет зарегистрировано появление тока небаланса, то это будет говорить о нарушении оболочки одного из фазных кабелей.

Ток небаланса появится только в том случае, когда будет иметь место нарушение оболочки, и через это нарушение будет протекать ток утечки, то есть в зоне нарушения имеет место увлажнение окружающей среды. Влага через повреждение проникнет к главной изоляции фазного кабеля и начнется развитие одного из самых опасных дефектов в СПЭ изоляции – возникновение «водяных деревьев», практически всегда приводящего к катастрофическим последствиям.

3.4. Технические средства для создания систем периодического мониторинга кабельных линий.

Наиболее часто встречающейся проблемой при эксплуатации высоковольтных кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) являются дефекты в изоляции концевых и соединительных муфт. Именно по этой причине чаще всего происходит выход из строя как «старых», так и сравнительно новых кабельных линий. Контроль состояния изоляции самих высоковольтных кабелей с СПЭ изоляцией становится критичным ближе к завершению срока эксплуатации кабельной линии. Развитие дефектов в СПЭ изоляции, особенно в муфтах, обычно происходит достаточно быстро. Поэтому периодические «off-line» испытания, эффективные для кабелей с изоляцией бумага-масло, не обеспечивают надежной эксплуатации современных кабельных линий.

Максимально эффективно организовать контроль состояния кабельных линий с СПЭ изоляцией можно при использовании систем непрерывного мониторинга, но такие системы, из-за своей стоимости, обычно экономически оправданы только для самых дорогих и ответственных кабельных линий. Для большинства кабельных линий более целесообразно использовать системы периодического мониторинга состояния, работающие в режиме «on-line», т. е. без вывода кабельных линий из работы.

В основе таких систем периодического мониторинга лежит техническая возможность безопасного проведения измерений параметров линии в любой момент времени. Для этого на концевых и соединительных муфтах кабельных линий стационарно устанавливаются только первичные датчики без измерительных приборов. Измерения диагностических параметров производятся при помощи одного или нескольких переносных приборов через любые интервалы времени.

3.4.1. Система периодического мониторинга кабельных линий с использованием комплектов датчиков «DKL» и переносного прибора «DIM-Loс».

Из двух применяемых на практике методов контроля состояния высоковольтных муфт - измерение температуры, и регистрации частичных разрядов (ЧР), более эффективным является метод регистрации и анализа ЧР в изоляции. Для организации периодического диагностического мониторинга кабельных линий предназначена универсальная система «DKL-3». Вся система состоит из трех основных элементов:



Рис. 23. Датчики и коммутационная коробка системы «DKL-3».

- «DKL-Sensor-3,6» - комплект из трех (шести) первичных датчиков частичных разрядов, соединительных кабелей и коммутационной коробки с разъемами, при помощи которых производится оперативное подключение переносного прибора к датчикам. В составе комплекта «DKL» могут поставляться датчики частичных разрядов различных марок, работающие во всех диапазонах частот – акустическом, ВЧ и СВЧ, в зависимости от задач, предъявляемых к системе периодического мониторинга. После монтажа системы для измерения частичных разрядов к разъемам коммутационной коробки можно оперативно подключать

любой измерительный прибор, работающий в необходимом диапазоне частот.

- Универсальный измерительный прибор марки «DIM-Loc-4», предназначенный для регистрации и анализа частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования. Исключительным преимуществом этого прибора является то, что с его помощью измерения



Рис. 24. Измерительный прибор «DIM-Loc».

могут производиться в любом из трех диапазонов частот – акустическом, высокочастотном и сверхвысокочастотном, т. е. к нему могут быть подключены датчики любого типа. При помощи прибора «DIM-Loc-4» и датчиков HF диапазона частот можно локализовать место возникновения дефекта в кабеле, регистрируя на работающем кабеле рефлектограмму прямого и отраженного импульсов частичного разряда. На экране прибора можно просмотреть PRPD распределение импульсов частичных разрядов, на основании которого можно определить тип дефекта, возникшего в изоляции кабельной линии. В качестве дополнительных опций с прибором «DIM-Loc-4» могут быть поставлены любые другие датчики частичных разрядов, например, дистанционный акустический датчик, высокочастотные

токовые клещи, различные антенны и т. д.

- Программное обеспечение системы периодического мониторинга - «iNVA» - база данных на персональном компьютере и экспертное программное обеспечение мониторинга, углубленной диагностики состояния кабельных линий и прогнозирования возможных сроков эксплуатации кабельных линий.

По результатам проведения измерений частичных разрядов и последующей обработки зарегистрированной информации дается оценка: технического состояния изоляции муфты; технического состояния участка кабеля; определяется тип дефекта в изоляции; локализуется место возникновения дефекта.

Для организации периодического мониторинга состояния высоковольтных кабельных линий на основе системы «DKL-3» необходимо:

- На всех контролируемых кабельных линиях установить комплекты датчиков с устройствами присоединения «DKL-3». Для линий длиной до 100 метров достаточно установить один комплект датчиков на одной стороне линии. Для более длинных линий необходимо монтировать датчики с двух сторон. При длине линии более 500 метров желательно на всех соединительных муфтах также устанавливать комплекты датчиков.

- Для более точного измерения параметров частичных разрядов необходимо провести калибровку всех смонтированных на кабельных линиях датчиков, используя тестовый генератор высокочастотных импульсов.

- С периодичностью не реже один раз в три месяца проводить измерение частичных разрядов в кабелях и муфтах. Оперативную диагностику состояния изоляции контролируемых кабельных линий проводить на месте измерения при помощи функций прибора «DIM-Loc-4», а углубленную – после загрузки информации с прибора в программное обеспечение периодического мониторинга «iNVA».

3.4.2. Организация периодического мониторинга состояния КРУ и кабельных линий при помощи переносного прибора «3i».

Создание систем периодического мониторинга, контролируемых достаточно большое количество единиц высоковольтного оборудования разных типов и марок, предъявляет к используемому диагностическому оборудованию специфические требования:

- Возможность проведения оперативных измерений частичных разрядов в высоковольтном оборудовании датчиками различных типов.

- Простота и эффективность проведения периодических измерений параметров ЧР персоналом без специальной подготовки.

Это возможно только в случае применения современных интеллектуальных приборов, обеспечивающих максимальную автоматизацию процесса измерений.



Рис. 25. Переносной прибор марки «3i».

К приборам такого типа относится компактный переносной многоканальный измерительный прибор регистрации частичных разрядов марки «3i». Он может работать с датчиками:

- Ультразвуковой акустический дистанционный и контактный датчик (один встроенный в прибор, дополнительный внешний).

- Емкостный высокочастотный датчик токов растекания (TEV). Один датчик встроен в прибор, дополнительный подключается к разъему.

- Датчик считывания и программирования меток типа «RFID», предназначенных для хранения информации о точке измерения ЧР. Датчик встроен в прибор.

- Внешний высокочастотный трансформатор тока для регистрации ЧР в проводниках и шинах заземления.

Несмотря на компактные размеры прибор марки «3i» имеет большие измерительные возможности и гибкую конфигурацию программных средств. Пользователь сам выбирает диагностический уровень, на котором он хочет работать. Это

может быть:

- Уровень «Индикатор», когда прибор просто показывает наиболее общие параметры регистрируемых частичных разрядов. В этом режиме прибор интуитивно понятен неподготовленному пользователю.

- В режиме «Диагност» пользователь может контролировать параметры ЧР в различном оборудовании. Все необходимые установки прибора, используемые при проведении измерения, и вся дополнительная информация об измеряемой точке, считывается с «RFID» метки, наклеенной в точке измерения. После проведения измерения информация о точке измерения приписывается к каждому замеру.

Такой подход дает возможность вести базу данных об оборудовании на компьютере в автоматическом режиме. При помощи программного обеспечения автоматически формируются технические отчеты о состоянии контролируемого оборудования. На компьютере могут формироваться маршруты, по которым пользователь должен проводить измерение параметров оборудования.

- Уровень «Эксперт» выбирается в приборе «3i» тогда, когда информации от встроенной экспертной системы оказывается недостаточно, а диагностический уровень пользователя достаточен для проведения самостоятельных углубленных исследований.