

СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ
ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ



ООО «DIMRUS»
Пермь
dimrus@dimrus.ru



Система диспетчерского мониторинга, предназначенная для управления режимами работы электротехнического оборудования энергосистемы.

Цель диспетчерского мониторинга – задание и контроль технологических параметров.

Система противоаварийной защиты и блокировки – РЗА.

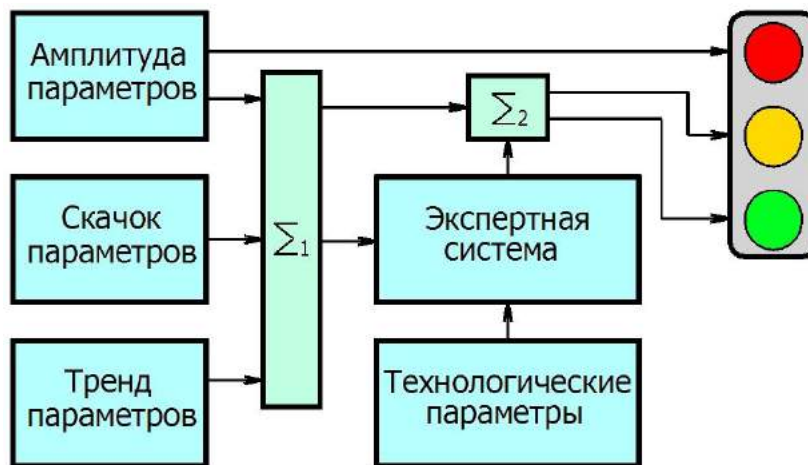
Цель работы системы РЗА – минимизация технических и экономических потерь после возникновения аварийных ситуаций с электротехническим оборудованием.

Система непрерывного диагностического мониторинга, предназначенная для оперативной оценки остаточного технического ресурса оборудования, выявления дефектных состояний на ранних стадиях.

Цель работы СДМ – предотвращение возникновения аварийных ситуаций с контролируемым оборудованием.

Оценка состояния оборудования в системах диагностического мониторинга производится на основании использования двух видов диагностики:

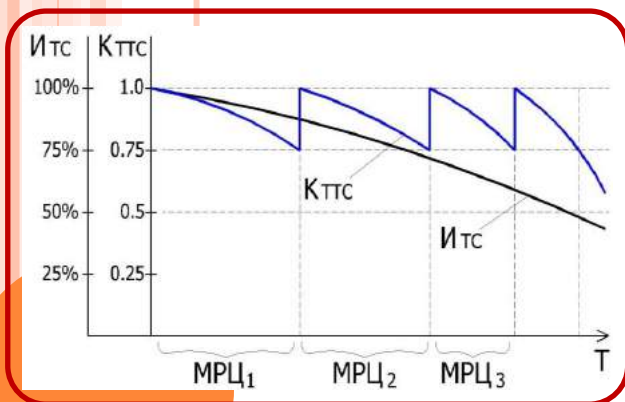
- параметрической, основанной на анализе нормируемых параметров,
- экспертной, основанной на использовании математических моделей.



Оборудование переводится системой мониторинга в категорию «предаварийное состояние» (красный сигнал светофора) только при недопустимо высоком уровне критических параметров (при наличии пороговых значений). Эта функция системы мониторинга дополняет работу систем РЗА.

Зеленый сигнал светофора включен системой мониторинга тогда, когда нет амплитудного превышения параметров, не было скачка, отсутствует временной тренд увеличения параметра. При этом экспертная диагностическая система по текущим значениям первичных параметров не выявила признаков дефектного состояния.

Желтый сигнал светофора зажигается при определенных сочетаниях первичных параметров и функций состояния оборудования.



Итогом работы диагностического ядра системы мониторинга является комплексный расчетный коэффициент текущего технического состояния – $K_{ТТС}$, который показывает техническое состояние оборудования на момент проведения измерений диагностики.

С помощью этого коэффициента оценивается реальная необходимость применения к контролируемому оборудованию ремонтных и сервисных воздействий.

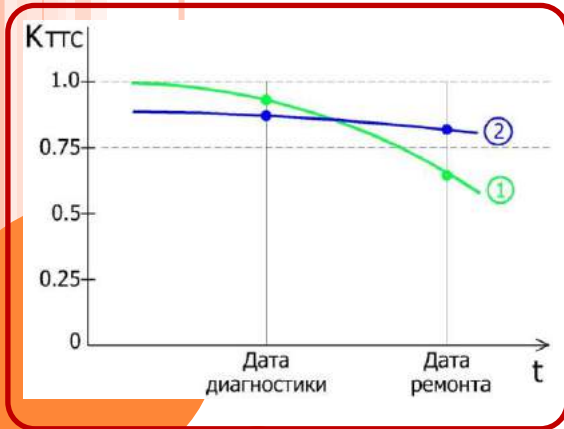
Коэффициент $K_{ТТС}$ отличается от используемого в настоящее время индексом технического состояния $I_{ТС}$.

Эти два комплексных параметра описывают разные аспекты технического состояния оборудования. Обычно их значения на текущий момент времени обычно не совпадают между собой.

- Индекс технического состояния оборудования $I_{ТС}$ описывает состояние оборудования в условиях полного жизненного цикла оборудования, который может включать в себя несколько межремонтных периодов.

- Период изменения коэффициента $K_{ТТС}$ захватывает один межремонтный цикл и отражает текущие изменения состояния контролируемого оборудования .

- Индекс технического состояния $I_{ТС}$ монотонно уменьшается за время полной жизни оборудования, а коэффициент технического состояния $K_{ТТС}$ циклически меняется за время каждого межремонтного цикла.



Оптимальное управление обслуживанием оборудования по техническому состоянию практически невозможно если в составе экспертного ядра системы мониторинга будет отсутствовать функция прогнозирования развития состояния оборудования.

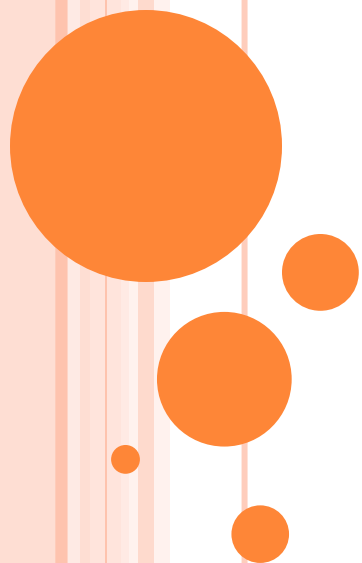
Очень важно, чтобы используемая в прогнозировании математическая модель оборудования должна быть адаптивной, т. е. она должна быть не «жесткой». Модель должна оперативно учитывать возникающие изменения состояния оборудования, например, при возникновении дефектных состояний разных типов.

Особенно велико значение функции прогнозирования при планировании ремонтных работ для оборудования, в котором были обнаружены развивающиеся признаки дефектных состояний. Реально планирование сроков проведения ремонтных работ должно производиться не по параметрам состояния на момент диагностики, а по состоянию на момент планируемых ремонтных воздействий.

Для этого в расчетах необходимо использовать математические модели, учитывающие изменение состояния оборудования за время подготовки к ремонтам.

На рисунке приведен пример, когда на момент проведения диагностики состояние аппарата 2 было хуже, чем состояние аппарата 1, а на момент проведения планируемых ремонтных работ ситуация поменялась – аппарат 1 больше нуждался в ремонтных работах, чем 2.

Системы мониторинга и диагностики силовых и измерительных трансформаторов



1. Наиболее важными техническими параметрами трансформаторного оборудования, контроль которых должна осуществлять система диагностического мониторинга, являются:

- Состояние изоляционной системы трансформатора, включающей в себя изоляцию высоковольтных вводов, изоляцию обмоток, параметры масла в баке трансформатора.
- Температурное состояние трансформатора, особенно величины температур критических точек в обмотках, что связано с работой системы охлаждения и технологическими режимами работы.
- Состояние электромеханических элементов трансформатора. Наиболее значимо техническое состояние встроенного переключающего устройства РПН, маслонасосов и вентиляторов системы охлаждения и качества прессовки активных элементов трансформатора.

Эти параметры состояния трансформатора являются критическими, нормированными, и обычно однозначно определяют возможность дальнейшей эксплуатации оборудования.

2. Перегрузка системы мониторинга второстепенными технологическими параметрами незначительно повышает ее эффективность, но имеет более значительные недостатки:

- значительно увеличивает стоимость, снижая экономическую эффективность;
- снижает надежность работы системы мониторинга.

3. В состав систем мониторинга обязательно должно входить экспертное ядро, комплексно оценивающее состояние трансформатора. Чем выше диагностический потенциал экспертной части программного обеспечения, тем выше будет эффективность работы СДМ, причем при меньшем объеме первичной информации, т. е. при меньшей цене поставки системы.

Базовый набор математических (диагностических) моделей для оценки технического состояния силового трансформатора реализованный в составе экспертного ядра программного обеспечения мониторинга iNVA.

Набор этих моделей приведен в таблице.

1. Трансформаторное оборудование

№	Диагностическая модель
1	Комплексная температурная модель силового трансформатора.
2	Влагосодержание в масле и в твердой изоляции трансформатора.
3	Контроль и анализ растворенных газов в масле.
4	Контроль состояния вводов трансформатора.
5	Измерение и анализ частичных разрядов в изоляции.
6	Совместный контроль растворенных газов и частичных разрядов.
7	Контроль состояния устройства РПН.
8	Анализ влияния импульсных перенапряжений.
9	Вибрационное состояние трансформатора.
10	Комплексная оценка технического состояния трансформатора.
11	Оптимальное управление системой охлаждения трансформатора.
12	Нагрузочная способность трансформатора.

Возможность работы каждой из этих математических моделей в составе системы мониторинга конкретного трансформатора в первую очередь определяется конфигурацией технических средств системы мониторинга.

Если техническими средствами системы регистрируется необходимый набор исходных параметров для работы модели, то автоматически запускается в работу соответствующий диагностический алгоритм.

1. Трансформаторное оборудование

Диагностическая подсистема трансформатора	Методы диагностики						
	ХАРГ	Влага в масле	Температура	Токи вводов	ЧР	Вибрация	Контроль U, I
1.1. Работа системы охлаждения.			*			*	*
1.2. Локальные перегревы в конструкции.	*		*				
1.3. Высокая температура в зонах обмотки.			*				*
1.4. Влагосодержание в твердой изоляции.		*	*				
2.1. Ухудшение состояния вводов.				*	*		
2.2. Ухудшение параметров масла.		*					
2.3. Старение бумажной изоляции обмоток.							
3.1. Состояние РПН трансформатора.	*		*		*	*	*
3.2. Дефекты конструкции, замыкания в стали.	*				*		
3.3. Нарушения формы обмоток после КЗ.						*	*
4.1. Низкая нагрузочная способность тр-ра.							
4.2. Низкий индекс технического состояния.							

- 1.X. – температурные проблемы трансформатора.
- 2.X. – состояние изоляционной системы.
- 3.X. – состояние электромеханических элементов трансформатора.
- 4.X. – эксплуатационные проблемы трансформатора.

Марка системы мониторинга	Объект контроля						Тип трансформатора
	Вводы	ЧР	РПН	Охлаждение	Газы в масле	Вибрация	
TDM	+	+	+	+	+	+	Все типы трансформаторов
TDM-M	+	+	+	+	+	+	Трансформаторы 110 кВ.
TDM-10/0,4		+		+		+	Трансформаторы 6 ÷ 35 кВ.
КИБ-500/110	+						Защитное реле для вводов
TDGM-04						+	Газоанализатор + H ₂ O
ADS-3		+					Элегазовые ТТ

Системы диагностического мониторинга для силовых трансформаторов имеют различную функциональность и как следствие различную стоимость.

При выборе системы мониторинга с оптимальными свойствами необходимо учитывать следующие параметры:

- Технологическую значимость силового трансформатора.
- Мощность трансформатора.
- Величину рабочего напряжения стороны ВН.
- Особенности текущей эксплуатации.
- Опыт эксплуатации трансформаторов подробного типа.

Обычно стоимость поставки системы мониторинга не должна превышать 3-5% от стоимости контролируемого трансформатора. Пре превышении этого порога обычно трудно добиться экономического эффекта от внедрении системы мониторинга.



Универсальная комплексная система мониторинга силовых трансформаторов, оперативно набираемая из 14 типов функциональных модулей различного назначения.

Максимальное количество различных модулей, используемых в одной системе мониторинга, может достигать 20.

Данное техническое решение наиболее эффективно в том случае, когда необходимо создание систем мониторинга мощных и ответственных силовых трансформаторов. Для создания типовых систем мониторинга трансформаторного оборудования используются стандартные наборы модулей.

При сборке системы TDM выбранные модули автоматически подключаются на общую шину, и программно интегрируются в единую систему под управлением главного модуля.

Современные средства обмена информации позволяют легко интегрировать систему TDM в общую систему АСУ-ТП подстанции по протоколу МЭК 61850.

Для работы на верхнем уровне мониторинга трансформаторного оборудования предназначено программное обеспечение iNVA, работающее со всеми системами мониторинга производства DIMRUS, имеющее универсальное экспертное ядро.

Ежегодно фирма DIMRUS изготавливает и монтирует на различных подстанциях России и СНГ 150 – 200 систем мониторинга марки TDM, предназначенных для контроля силовых трансформаторов с рабочим напряжением 220 – 500 кВ.

В 2014 году система TDM была сертифицирована в ФСК как система защиты вводов. В настоящее время завершается ее сертификация как системы мониторинга силовых трансформаторов.



Система мониторинга силовых трансформаторов с рабочим напряжением 110 кВ на основе прибора TDM-M производства фирмы ДИМРУС. Монтируется в защитном шкафу рядом с контролируемым трансформатором.

Система мониторинга включает в себя:

1. Датчик температуры позволяет реализовать возможности температурной модели трансформатора.
2. Датчики токов проводимости вводов и частичных разрядов контроль вводов и изоляции трансформатора.
3. Датчик тока нагрузки трансформатора для использования в расчетах температуры наиболее нагретой точки обмотки.
4. Датчик вибрации бака трансформатора для контроля технического состояния конструкции трансформатора.

Достоинства системы мониторинга TDM-M:

- Сравнительно низкая стоимость технических средств при достаточном объеме информации для оперативной оценки технического состояния трансформатора.
- Высокая мобильность - система может оперативно монтироваться на трансформаторах любой конструкции.
- Использование с системой TDM-M универсального программного обеспечения марки iNVA для мониторинга параметров и проведения экспертной оценки состояния трансформатора.
- Наличие проводных и беспроводных интерфейсов связи с системой АСУ-ТП подстанции.



Система мониторинга TDM-10/0,4 предназначена для оперативного контроля и оценки технического состояния маслонаполненных трансформаторов с рабочим напряжением ВН 6 ÷ 10 кВ.

Система мониторинга марки TDM-10/0,4 контролирует до 6 важных параметров состояния трансформатора:

- Температура масла в баке трансформатора.
- Влагосодержание в масле бака.
- Уровень масла в баке.
- Вибрация бака трансформатора.
- Разрядная активность в баке.
- Давление в баке (опция).

Система TDM-10/0,4 реализована в общем металлическом корпусе, в верхней части которого располагается микропроцессорная часть, а в нижней смонтированы все первичные датчики.

В рабочем режиме прибор монтируется в заливной горловине бака так, чтобы все датчики располагались в масле бака трансформатора.

Для контроля токов и напряжений обмотки ВН может устанавливаться дополнительный модуль контроля технологических параметров.

Для передачи информации о состоянии трансформатора используется беспроводной радио интерфейс, встроенная антенна которого находится в верхней части прибора под радиопрозрачной крышкой. Итоговая информация о состоянии трансформатора оперативно передается в систему АСУ-ТП предприятия.

Прибор системы TDM-10/0,4 имеет компактные размеры 80*250 мм (D*H), массу - 3 кг. Отличается простой конструкцией и легким монтажом.



Особенности применения прибора КИВ-500/110:

- Прибор КИВ-500/110, в отличие от обычного релейного устройства КИВ-500, рассчитан на работу с вводами любого рабочего напряжения - от 110 до 750 кВ. Это стало возможным за счет применения измерительной схемы с высокой чувствительностью для токов проводимости в диапазоне от 0,5 до 200 мА.
- КИВ-500/110 работает и в том случае, когда на контролируемом трансформаторе по каким-либо причинам установлены вводы различных марок и даже тогда, когда эти вводы имеют различные типы изоляции, например, «бумага-масло» и RIP.

Технические возможности прибора марки КИВ-500/110:

- Диагностика состояния и защита высоковольтных вводов выполняется на основании анализа тока проводимости изоляции. Этот комплексный ток имеет две составляющие – активную, связанную с необратимыми потерями в изоляции, и реактивную, определяемую величиной основной емкости ввода C1.
- Вторым важным диагностическим параметром состояния ввода является величина тангенса угла потерь в изоляции. Чем больше его значение, тем хуже состояние изоляции ввода. Измерение тангенса угла потерь под рабочим напряжением в КИВ-500/110 может производиться по двум схемам: с использованием опорных фазных напряжений от измерительного трансформатора напряжения (в этом случае производится расчет абсолютных значений тангенсов) или без использования такого напряжения (когда рассчитываются относительные значения тангенсов).



Анализатор растворенных в масле бака трансформатора газов производства фирмой ДИМУС имеет торговую марку TDGM-04. Эта разработка выполнена совместно с фирмой ДИЗКОН.

При помощи газоанализатора TDGM-04 контролируется влагосодержание в масле, концентрация водорода, CO и концентрация суммы горючих газов.

Оптимальная комплексная система мониторинга силовых трансформаторов (мониторинг основных параметров + контроль растворенных газов) имеет торговую марку TDM-G. Она включает в себя систему мониторинга TDM-M и газоанализатор марки TDGM-04.

Система мониторинга TDM-G имеет два конструктивных исполнения технических средств – в виде моноблока и в виде двух отдельных приборов мониторинга.

- При моноблочном исполнении вся система монтируется в шкафу с двумя отдельными секциями – одна для монтажа газоанализатора TDGM-04, другая для системы TDM-M.

- При раздельном исполнении прибор TDGM-04 поставляется в виде отдельного блока, который монтируется на сливном кране бака трансформатора. Связь с TDM-M осуществляется по цифровому интерфейсу.

Достоинство системы мониторинга TDM-G - возможность оперативного монтажа технических средств на практически любом трансформаторе.



Практическая эксплуатация измерительных трансформаторов тока с элегазовой изоляцией показала, что и это высокотехнологичное оборудование нуждается в оперативном контроле технического состояния при помощи систем диагностического мониторинга.

В линейке продукции фирмы ДИМУС для целей контроля элегазовых трансформаторов тока предназначена система мониторинга марки ADS-3. Она состоит из базового блока ADS-3 и трех интеллектуальных датчиков марки ISPD-A.

Датчик ISPD-A представляет собой компактный модуль, который крепится на нижнем основании элегазового ТТ. В состав датчика входит встроенный акустический датчик и микропроцессорная плата для регистрации и анализа частичных разрядов.

По интерфейсу RS-485, проложенному в одном кабеле с питанием датчика, информация передается в базовый модуль системы мониторинга ADS-3.

Базовый модуль может работать в двух режимах:

- Он может являться концентратором для сбора информации от интеллектуальных датчиков IDPD-A и транслирования ее по интерфейсу RS-485 в систему АСУ-ТП.
- Встроенный процессор базового модуля может собирать информацию от датчиков, дополнительно ее анализировать, сравнительно оценивать состояние ТТ, архивировать информацию и т. д.. В таком режиме базовый модуль выполняет все функции автономной системы мониторинга технического состояния трех и более элегазовых трансформаторов тока.



Датчики (устройства присоединения) марки DB-2 монтируются на измерительных выводах высоковольтных вводов трансформаторов и предназначены для регистрации токов проводимости изоляции (бумага – масло и RIP). Из-за наличия несовпадающих посадочных мест на вводах разных производителей фирмой производится около 30 конструктивных модификаций датчиков.

Для обеспечения безопасной работы вводов в датчики встроены защиты от импульсных перенапряжений и от обрыва кабеля от датчика к измерительному прибору.

Датчики позволяют проводить регистрацию частичных разрядов в HF (ВЧ) диапазоне частот. В специальной версии датчик может измерять частичные разряды и в UHF (СВЧ) диапазоне частот, от 400 до 800 МГц.



Датчик частичных разрядов марки AES-T предназначен для установки внутри баков трансформаторов и регистрирует сигналы в UHF (СВЧ) диапазоне частот 400 ÷ 1500 МГц.

Датчик состоит из двух частей - встраиваемой внутрь бака радиопрозрачной оболочки, монтируемая на заводе – изготовителе трансформатора, и антенна, которая может устанавливаться и сниматься в процессе эксплуатации без потери герметичности бака трансформатора.

Датчик может быть использован с любой системой мониторинга. В минимальной конфигурации с датчиком AES-T может быть использован прибор ISPD.



Переносной прибор марки AR700 применяется для регистрации и анализа акустических сигналов на поверхности элегазовых выключателей и подстанций, маслонаполненных силовых трансформаторов и другого бакового высоковольтного оборудования.

Важной функцией прибора является возможность локации мест возникновения дефектов внутри бакового оборудования.

Возможности прибора AR700:

- 4 синхронно работающих канала регистрации акустических сигналов для выявления наличия дефектов в изоляции и эффективной локации места возникновения дефекта.
- Дополнительный канал регистрации частичных разрядов, работающий в высокочастотном диапазоне, для улучшения защиты от внешних акустических помех.
- Возможность «прослушивания» зарегистрированных импульсов в «замедленном режиме» при помощи входящих в комплект поставки наушников.
- Синхронизация измерений импульсов частичных разрядов с фазой синусоиды питающей сети.
- Определение типа и места возникновения дефекта в изоляции оборудования бакового типа.

Состав поставки прибора.

- Прибор AR700 в транспортном чемодане.
- Набор датчиков.
- Специализированное программное обеспечение для анализа распределения импульсов и звуковых образов дефектов.



Переносной прибор марки FreDA (Frequency Domain Analyzer) позволяет определять диэлектрические и электрические параметры изоляции высоковольтного оборудования при использовании источника испытательного напряжения, встроенного в прибор.

Частота выходного напряжения источника FreDA регулируется в диапазоне от тысячных долей герца до единиц мегагерц.

Возможности прибора FreDA:

- Поиск нарушений формы обмоток силовых трансформаторов по методу FRA (Frequency Response Analyzer). Частота выходного напряжения прибора в этом режиме варьируется в диапазоне от 100 Гц до 20,0 МГц. При контроле нарушений формы обмоток для каждой фазы обмотки трансформатора регистрируется зависимость коэффициента комплексного затухания сигнала в обмотке, определяемая в функции частоты приложенного напряжения. Полученные частотные зависимости сравниваются между собой.

- Регистрация токов проводимости высоковольтной изоляции, зависящей от ее диэлектрической проницаемости, токов абсорбционных процессов, и активных потерь в изоляции, связанных с наличием в изоляции влаги и различных загрязнений. В этом режиме частота выходного напряжения изменяется в диапазоне от 0,1 до 600,0 Гц.

Благодаря использованию в составе прибора источника испытательного напряжения, имеющего уникальный частотный диапазон, от долей герца до 20 мегагерц, прибор марки FreeDA может быть использован для проведения измерений параметров изоляции в различных условиях.



Универсальный переносной прибор марки Ганимед предназначен для испытания, проверки и контроля качества и надежности устройств регулирования напряжения (РПН) высоковольтных силовых трансформаторов.

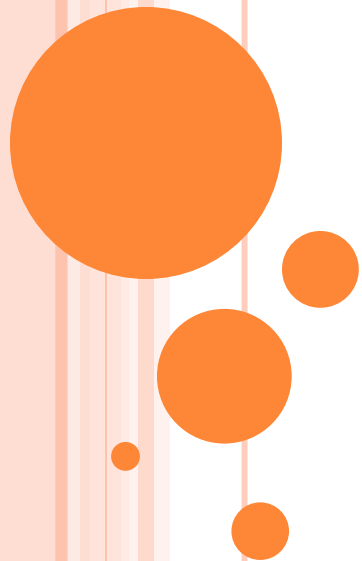
Возможности прибора Ганимед:

- Проведение регистрации и анализа стандартных характеристик и параметров работы РПН различных типов.
- Измерение переходного сопротивления внутренних контактов и соединений РПН при помощи встроенного омметра.
- Анализ состояния механического привода РПН на основе графика потребляемой приводным электродвигателем мощности, зарегистрированной за один цикл коммутации, и графика синхронно зарегистрированной вибрации бака РПН.
- Практическая аппаратная и программная реализация метода измерения динамических переходных сопротивлений в РПН – DRM. Этот метод позволяет оперативно контролировать состояние РПН без вскрытия оборудования.
- Проведение DRM-теста последовательно для всех положений РПН, причем в прямом и обратном направлениях работы избирателей.

Состав поставки и встроенное программное обеспечение позволяют при помощи прибора Ганимед проводить диагностику состояния РПН силовых трансформаторов стандартными методами и с использованием современного DRM теста.

Использование встроенной экспертной системы и автономного аккумулятора питания повышают эффективность работы прибора.

Системы мониторинга и диагностики кабельных линий среднего и высокого напряжений





Для организации мониторинга технического состояния и диагностики дефектов кабельных линий наиболее часто применяют три метода:

- **Контроль распределения температуры вдоль кабельной линии** при помощи оптического волокна, проложенного в кабеле под оболочкой на заводе изготовителя. Метод позволяет контролировать температуру вдоль всей линии, диагностируя места наличия локальных перегревов, обычно в зоне дефектов.

Этот метод ориентирован на контроль технологических режимов работы кабельной линии, его диагностические возможности ограничены.

- **Контроль частичных разрядов в изоляции кабеля и в муфтах.** Метод базируется на измерении и анализе частичных разрядов в изоляции, которыми сопровождается возникновения большинства дефектов в кабельных линиях.

Данный метод имеет высокую чувствительность к подавляющему большинству дефектов, возникающих в изоляции кабельной линии, причем на самых ранних стадиях их возникновения и развития. По этой причине метод применяется для целей диагностики и управления эксплуатацией высоковольтных кабельных линий.

- **Контроль токов в экране кабеля.** Метод предназначен в основном для контроля уравнивающих токов в экранах, обусловленных режимами работы и особенностями прокладки однофазных кабельных линий.

Метод имеет ограниченные диагностические возможности.

В идеальном случае ответственная кабельная линия должна оснащаться комплексной системой мониторинга, включающей в себя технические и программные средства трех методов мониторинга и диагностики.

Волоконно-оптическая система измерения температуры ASTRO производства фирмы «Инверсия-Сенсор» предназначена для независимого использования, и в составе комплексов КМК-500, в которых дополнительно производится измерение частичных разрядов при помощи акустических датчиков (приборы ADM-9) и высокочастотных трансформаторов тока (приборы CDR).

Система устанавливается в общем шкафу мониторинга, наряду с приборами марки CDR и ADM-9, предназначенными для контроля частичных разрядов.

3. Высоковольтные кабельные линии



Диапазон измерения температуры, °С	-55 ...+400
Время измерения температуры, сек	от 5
Точность измерения, °С	от 0,01
Пространственное разрешение, м	от 1
Длина чувствительного элемента (оптоволокна), км	до 10, опция до 20
Количество измерительных каналов	1, 4, 8
Длина волны излучения, нм	1550
Тип волокна	ММ
Температура эксплуатации, °С	0...+40
Влажность окружающей среды, %	до 80
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, Вт	40
Размеры прибора, мм	230*320*70
Вес измерительного прибора, кг	3,0

На практике применяются три системы диагностики и оценки технического состояния высоковольтных кабельных линий по уровню и распределению частичным разрядам:

- **Периодический контроль** (испытания) изоляции кабельных линий в режиме off-line, т. е. на линии, выведенной из эксплуатации при помощи переносных датчиков и приборов. Поскольку частичные разряды в зонах дефектов возникают только под воздействием высокого напряжения, требуется применение дополнительных высоковольтных источников.

- **Периодический мониторинг на работающей линии** в режиме on-line при помощи переносных измерительных приборов. Такие измерения могут производиться как угодно часто, особенно если используются стационарно установленные датчики ЧР.

- **Постоянный мониторинг** в режиме on-line при помощи стационарно установленных датчиков и измерительных приборов. Измерения частичных разрядов в таких системах производятся практически непрерывно и без участия оперативного персонала. Если в системе мониторинга присутствует эффективное экспертное ядро, то чаще всего нет необходимости в привлечении к работе и диагностического персонала.

Особенностью эксплуатации высоковольтных кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена является высокая вероятность возникновения в них дефектов, срок развития которых до момента катастрофического пробоя может составлять месяцы, недели и даже дни.

Поэтому внешне надежно выдержавший периодическое испытание кабель может выйти из строя раньше, чем наступить срок следующего (например ежегодного) испытания. Более того, часто сами испытания провоцируют возникновение быстро развивающихся критических дефектов.

Самый эффективный путь повышения надежности работы высоковольтных кабельных линий – использование систем диагностического мониторинга основанных на регистрации и анализе частичных разрядов.

Непосредственно в момент возникновения импульс частичного разряда от дефекта в изоляции обычно имеет очень высокую частоту от 1 ГГц и выше.

Далее, распространяясь в окружающих материалах, импульс взаимодействует с окружающими элементами изоляции и конструкции и генерирует целый спектр электрических и даже акустических импульсов, вплоть до слышимых ухом человека.

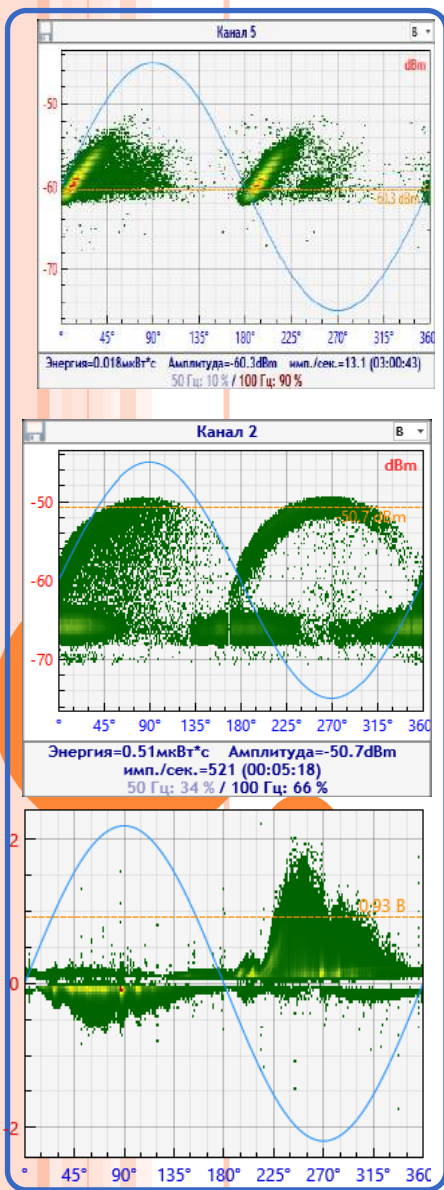
На практике инструментальное измерение частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования производится в трех диапазонах частот:

- Ультразвуковом диапазоне, до 300 кГц;
- Высокочастотном диапазоне, до 100 МГц;
- Сверхвысокочастотном диапазоне, до 1,5 ГГц.

Диапазон	Тип датчиков	Монтаж	Чувствит.	Цена
LF (ультразвук) 30 – 300 кГц	Пьезодатчики, микрофоны	На корпусах и бесконтактно	± 1 м	*
HF (ВЧ) 0,1 – 100,0 МГц	HF трансформаторы Конденсаторы связи	На земляных шинах	± 2000 м	**
UHF (СВЧ) 0,5 – 1,5 ГГц	Электромагнитные антенны	Бесконтактно	± 20 м	***

Если предполагается производить контроль состояния изоляции только муфт, на которых и смонтированы датчики частичных разрядов, то в создаваемой системе мониторинга можно использовать аппаратуру, работающую в любом из трех диапазонов частот.

Если предполагается использовать систему мониторинга для контроля состояния концевых и соединительных муфт и самого кабеля, то наилучшие результаты получаются при использовании аппаратуры, работающей в ВЧ диапазоне частот.



Каждый зарегистрированный импульс частичного разряда характеризуется амплитудой, частотой и длительностью. Эти три параметра импульса несут в себе диагностическую информацию, что способствует анализу процессов в дефектной зоне изоляции.

Важной диагностической информацией является связь момента возникновения частичного разряда с фазой напряжения питающей сети, под действием которого и возникает разряд.

Эта связь характеризуется следующими признаками:

- На какой полуволне питающего напряжения возникает частичный разряд - на положительной или отрицательной, или на обоих.
- Частичный разряд возникает на временном (угловом) участке роста или падения напряжения, или же такой связи нет вообще.
- По мере роста напряжения сети амплитуда частичных разрядов возрастает, уменьшается, или же такой связи нет.
- Какова частота повторения импульсов – они возникают на каждом периоде питающей сети однократно, многократно, или же через несколько периодов питающей сети.

Все эти диагностические признаки наиболее удобно анализировать при помощи PRPD распределений (**Phase Resolved Partial Discharge** - фазо распределенное распределение частичных разрядов).

Достоинством использования PRPD является то, что для наиболее важных дефектов изоляции такие представления являются стабильными, практически нормированными. Существуют альбомы характерных PRPD распределений, на основании которых строятся автоматизированные системы определения типов дефектов.

Появление частичных разрядов сопровождается почти все значимые и часто встречающиеся дефекты в изоляции высоковольтных кабельных линий.

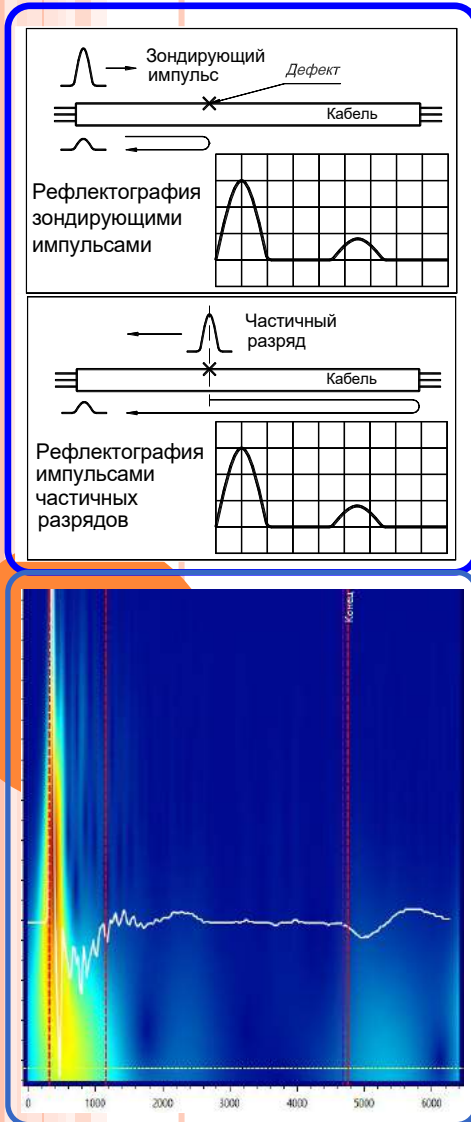
Если после проведения измерений и отстройки от помех достоверно подтверждено наличие частичных разрядов в изоляции кабельной линии, то это всегда является признаком тревожного состояния линии. Однако только уровень зарегистрированных частичных разрядов не всегда позволяет правильно оценивать степень опасности возникшего дефекта для дальнейшей эксплуатации кабельной линии.

На оценку эксплуатационной опасности дефекта влияют несколько параметров:

- Удаление места дефекта от датчика частичных разрядов. Чем дальше дефект будет располагаться от датчика, тем меньше будет амплитуда импульсов частичных разрядов.
- Частота повторяемости импульсов, которая влияет на расчетную мощность дефекта.
- Вид выявленного дефекта в изоляции кабельной линии. Дефекты имеют различную степень опасности и по разному влияют на возможность дальнейшей эксплуатации линии.

	Вид дефекта в изоляции КЛ	ЧР	Опасность
1	Дефект на поверхности фазного провода.	+	++
2	Дефект между проводниками фазного провода.	+	+
3	Дефект внутри изоляции кабеля или муфты.	+	++
4	«Плавающий потенциал» внутри изоляции.	++	+
5	*«Водяные деревья» внутри изоляции.	-	++
6	Дефект на поверхности экрана кабеля.	+	++

*) Опасный дефект в изоляции кабельной линии с наименованием «водяные деревья» не диагностируется по частичным разрядам так как он не модифицирует изоляционный промежуток кабеля, а просто механически сокращает его. В настоящее время не существует надежных on-line методов диагностики таких дефектов.



Регистрация и анализ частичных разрядов в изоляции кабельной линии позволяет не только диагностировать факт появления дефектов, но и проводить эффективную локацию мест нахождения этих дефектов, причем в процессе работы кабельной линии под рабочим напряжением.

Принцип локации дефектов по импульсам частичных разрядов во многом похож на стандартную рефлектометрию. Отличие заключается в том, что в качестве зондирующего импульса используется не сигнал от дополнительного тестового генератора, а сам импульс частичного разряда, возникший в дефектной зоне изоляции кабельной линии.

Этот импульс, возникнув в зоне дефекта, начинает распространяться по кабельной линии в обе стороны, в направлении противоположных концов.

Импульс, движущийся к прибору, будет зарегистрирован первым. Импульс, движущийся в противоположную сторону, сначала отразится от конца кабельной линии. Этот отраженный импульс будет двигаться в сторону измерительного прибора, и также будет зарегистрирован измерительным прибором системы мониторинга.

Разница во времени прихода двух импульсов к прибору, прямого и отраженного, равняется удвоенному времени движения импульса частичного разряда от места дефекта к противоположному концу кабельной линии.

Точность такой локации обычно составляет 1 – 2% от полной длины контролируемой кабельной линии.



Система мониторинга марки CDM (Cables Diagnostics Monitor) предназначена для постоянного контроля технического состояния изоляции 6 – 45 кабельных линий под рабочим напряжением.

Все контролируемые кабельные линии должны быть подключены на одном объекте (КРУ) на расстоянии не более 100 метров между собой и от прибора системы мониторинга. В качестве датчиков частичных разрядов в системе используются высокочастотные трансформаторы тока, чаще всего марки RFCT-7.

Использование многоканальной системы мониторинга CDM на одном объекте имеет существенные преимущества:

- Это позволяет значительно снизить затраты на поставку системы мониторинга, рассчитываемые на один контролируемый кабель.
- С другой стороны, использование многоканальной аппаратуры дает возможность максимально эффективно отстраиваться от высокочастотных помех несколькими методами.

Эксплуатационные достоинства системы мониторинга CDM:

- Осуществляется непрерывный контроль технического состояния изоляции и диагностика дефектов в высоковольтных линиях одной кабельной сборки, трехфазных и однофазных, на основе метода регистрации и анализа уровня частичных разрядов.
- Проводится автоматическая локализация мест возникновения дефектов в изоляции, выявленных системой по частичным разрядам, как в муфтах, так и в самом кабеле. Эта функция реализована для работающей кабельной линии, находящейся под рабочим напряжением.



Прибор марки «CDR» предназначен для организации мониторинга технического состояния высоковольтных кабельных линий с рабочим напряжением до 500 кВ. Основные возможности системы:

- 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 и эксплуатационной опасности.

- Производится автоматическая локация мест возникновения дефектов в изоляции, выявленных системой по частичным разрядам, как в муфтах, так и в самом кабеле. Локация места возникновения дефекта может производиться двумя методами: на основе рефлектограмм от импульсов частичных разрядов и по волновому методу. В волновом методе определяется разность по времени прихода импульса к противоположным концам кабельной линии, для чего устанавливаются два прибора и синхронизируются между собой по оптическому волокну.

- Непрерывное контактное измерение рабочей температуры фаз кабельной линии (концевых муфт), расположенных рядом с измерительным прибором системы мониторинга (опция).

- Контроль величины уравнивающих токов, протекающих по экрану (броне) кабельной линии при помощи дополнительного датчика тока. Появление уравнивающих токов отрицательно сказывается на нагрузочной способности линии из-за увеличенной температурной нагрузки на изоляцию (опция).



Система мониторинга ADM-9 предназначена для оперативного контроля технического состояния и поиска дефектов в муфтах высоковольтных кабельных линий под рабочим напряжением.

Достоинства системы ADM-9:

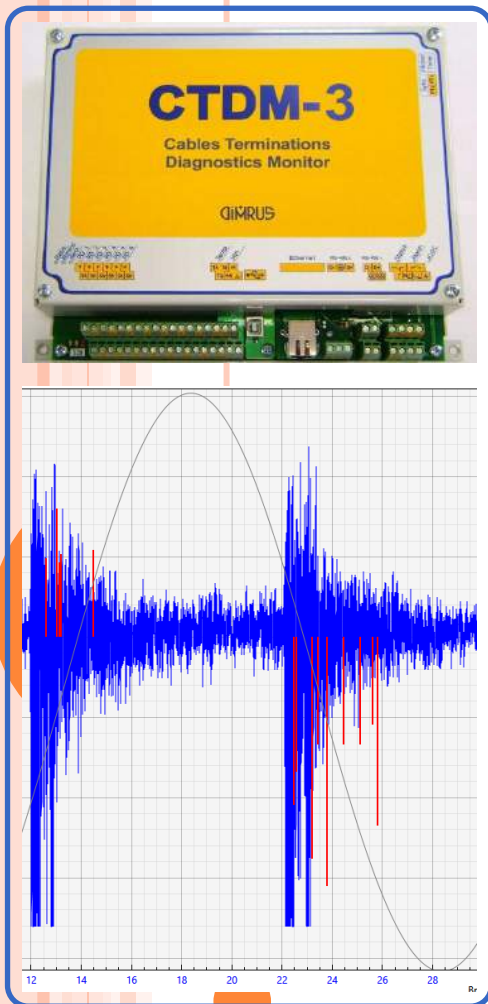
- Оперативный контроль наличия дефектов в концевых и соединительных муфтах.
- Возможность контроля активности частичных разрядов и поиска дефектов в 9 точках оборудования, удаленных друг от друга на расстоянии до 30 метров.
- Локация места возникновения частичных разрядов внутри высоковольтного оборудования при использовании групп датчиков, разнесенных между собой.

Поставка и особенности монтажа.

- Измерительный прибор ADM-9 в защитном корпусе.
- Набор акустических датчиков для регистрации частичных разрядов в соответствии с заказанной спецификацией.
- Программное обеспечение iNVA-КМК для реализации функции мониторинга для персонального компьютера.

Ультразвуковые датчики системы мониторинга ADM-9 монтируются на контролируемых муфтах с использованием изолирующих элементов. Это делается для уменьшения влияния на прибор перенапряжений, возникающих в моменты коммутаций и КЗ.

Если муфта акустически недоступна, то датчики устанавливаются на разделанной части кабеля рядом с муфтой, максимально близко к ней. Шкаф с прибором ADM-9 устанавливается рядом с контролируемым высоковольтным оборудованием.



Система мониторинга марки СТДМ-3 (Cables Terminations Diagnostics Monitor) предназначена для организации мониторинга трех кабелей (кабельных линий) и эффективного контроля технического состояния трех концевых муфт.

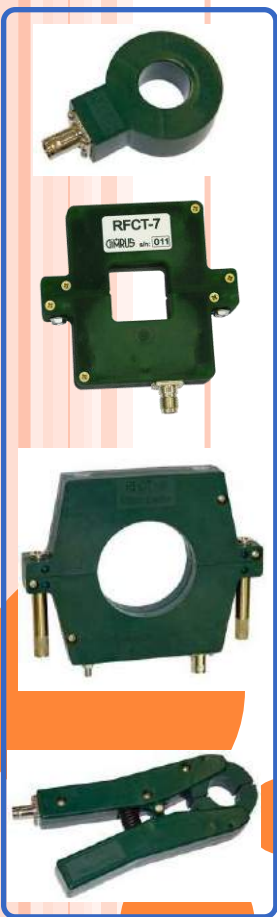
На поводке заземления каждого контролируемого кабеля монтируется трансформаторный датчик частичных разрядов марки RFCT, а непосредственно на поверхности муфты устанавливается ультразвуковой акустический датчик.

Использование для контроля технического состояния каждого кабеля двух датчиков частичных разрядов разного частотного диапазона придает системе мониторинга новые свойства:

- Позволяет повысить помехозащищенность процесса регистрации в муфтах и в кабельной линии частичных разрядов.
- Дает возможность эффективно разделять частичные разряды, возникшие в муфте и в самом кабеле.
- Сравнивая сигналы с двух датчиков можно определять расстояние от акустического датчика до места возникновения дефекта в муфте кабеля с точностью до 0,2 метра.

В работе экспертной части системы СТДМ-3 максимальное внимание уделяется мониторингу и контролю технического состояния муфт, которые, согласно имеющейся статистике, являются причиной до 80% аварийных ситуаций с кабельными линиями, имеющими изоляцию из сшитого полиэтилена.

Для трех контролируемых кабельных линий в системе реализованы и обычные функции мониторинга, такие как диагностики и локации дефектов по длине кабеля.



Основным типом датчиков частичных разрядов, наиболее часто применяемым для диагностики кабельных линий, являются высокочастотные трансформаторы тока, обозначаемые в литературе как HFCT или RFCT. Они представляют собой измерительные трансформаторы тока, в которых использован не сердечник из электротехнической стали, а кольцо из высокочастотного феррита.

Частотные свойства таких датчиков определяются параметрами ферритового сердечника, наиболее эффективно их применение для частот от 0,5 до 15,0 МГц.

При создании систем мониторинга и диагностики кабельных линий на основе датчиков типа RFCT их устанавливают на поводке (шине) заземления экрана кабеля. Если экран кабеля заземлен несколькими проводниками, то на всех остальных поводках заземления устанавливаются пассивные фильтры высокочастотных сигналов.

Поскольку по проводникам заземления возможно протекание больших токов, как импульсных, так и промышленной частоты, в «кабельных модификациях» датчиков типа RFCT применяются специальные меры, позволяющие избегать больших насыщений сердечника токами промышленной частоты, может значительно снизить чувствительность датчика к ЧР и исказить форму импульсов.



Для определения направления движения высокочастотных импульсов по линии, что нужно для лучшей помехозащищенности и точной локализации места нахождения дефектов, используются комбинированные датчики марки PD-Line, монтируемые на поверхности кабеля рядом с концевой или соединительной муфтой.



Установки марки CPDA-15, CPDA-30 и CPDA-60 предназначены для диагностики дефектов в изоляции кабельных линий по методу OWTC.

Метод базируется на воздействии на кабельную линию резонансных затухающих колебаний, частота которых определяется емкостью контролируемой кабельной линии и индуктивностью тестовой катушки, встроенной в установку.

Диагностические установки марки CPDA-15, CPDA-30 и CPDA-60 имеют одинаковый измерительный блок, но различаются параметрами встроенного высоковольтного источника, добавочной индуктивности и конденсатора связи для регистрации частичных разрядов. Параметры контролируемых кабельных линий для CPDA:

- CPDA-15 для кабельных линий 6 ÷ 10 кВ.
- CPDA-30 для кабельных линий до 20 кВ.
- CPDA-60 для кабельных линий до 35 кВ.

Достоинства установок серии CPDA:

- Неразрушающая оперативная диагностика состояния изоляции кабеля, концевых и соединительных муфт.
- Локация места возникновения дефектов в кабельной линии, соединительных и концевых муфтах. Встроенное измерение тангенса угла потерь в изоляции.

Управление процессом проведения измерений во всех установках серии CPDA производится дистанционно с обычного ноутбука с использованием стандартного беспроводного интерфейса Wi-Fi.

Полная обработка результатов испытаний, проведение экспертной диагностики, и формирование отчетных документов осуществляется с применением специального программного обеспечения на ноутбуке.



Переносная установка марки PD-Filter предназначена для измерения частичных разрядов и оценки технического состояния изоляции кабельных линий 6 ÷ 10кВ во время проведения испытаний напряжением сверхнизкой частоты (СНЧ).

Установка Filter-PD/10 состоит из трех основных элементов:

- Фильтра отстройки от высокочастотных помех, генерируемых установкой СНЧ.
- Внутреннего датчика частичных разрядов в изоляции контролируемой кабельной линии.
- Встроенного устройства PD-Analyzer-3С для регистрации и анализа частичных разрядов.

Все три элемента установки смонтированы в общем корпусе и представляют собой единое целое.

Диагностические возможности установки:

- Измерение и расчет основных диагностических параметров импульсов частичных разрядов в кабельной линии в процессе проведения испытаний.
- Показ зарегистрированных сигналов на экране ноутбука или смартфона в виде различных графиков, гистограмм и цифровой информации.
- Регистрация рефлектограмм распределения и отражения импульсов частичных разрядов. Проведение локализации места дефекта в кабельной линии.
- Определение типа выявленного дефекта в изоляции кабельной линии на основании анализа синхронизированного распределения импульсов частичных разрядов (PRPD).
- Сохраненные в ноутбуке или смартфоне данные могут быть переданы на общий диагностический сервер предприятия по проводному или беспроводному каналу связи.



Переносной прибор марки AC-Tester предназначен для оценки состояния и поиска дефектов в изоляции высоковольтного оборудования в режиме off-line по параметрам абсорбционных процессов.

Возможности прибора AC-Tester:

- Определение коэффициентов абсорбции и поляризации для изоляции (зарядная характеристика).
- Измерение величины зарядного тока изоляции при значениях времени в 15, 60 и 600 секунд.
- Анализ состояния изоляции по методу контроля возвратного напряжения (RVM-анализ, разрядная характеристика) для бумажно-масляной изоляции.
- Анализ состояния изоляции по методу контроля тока релаксации (IRC-анализ, разрядная характеристика), чаще всего применяемый для контроля состояния изоляции из сшитого полиэтилена.
- Определение параметров технического состояния изоляции в электрических машинах, трансформаторах, и т. д. по результатам проведения RVM или IRC тестов.

Особенности применения прибора AC-Tester.

- Перед проведением измерения контролируемый кабель заряжается постоянным напряжением 1...2 кВ от внутреннего высоковольтного источника в течение 15 минут.
- В методе контроля возвратного напряжения для снятия заряда геометрической емкости, КЛ замыкается накоротко на несколько секунд, после чего производится измерение напряжения.
- В методе контроля тока релаксации кабель после окончания зарядки замыкается через прибор.

е.



Прибор Test-PD предназначен для оперативного контроля состояния концевых и соединительных муфт кабельных линий от 6 кВ.

Прибор может эксплуатироваться персоналом, не обладающим специальной подготовкой: монтажниками, эксплуатационным персоналом.

Для проведения диагностики достаточно поднести Test-PD к контролируемой муфте. На экране прибора будут показаны зарегистрированные частичные разряды, а также будет графически локализовано место их возникновения.

Благодаря наличию в приборе беспроводного интерфейса информация о состоянии муфты может передаваться на смартфон или планшет. Это позволяет, используя изолирующую штангу, проводить измерения на токоведущих элементах оборудования под напряжением.

Прибор Test-PD имеет пять встроенных внутри корпуса датчиков:

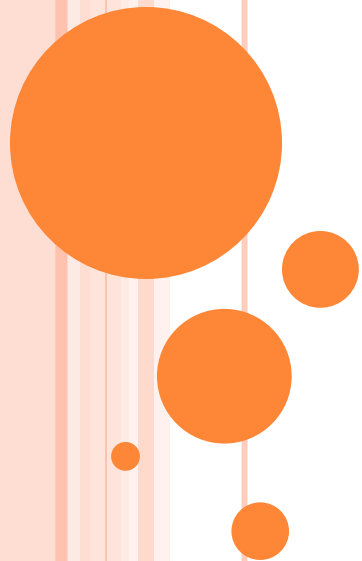
- Ультразвуковой датчик LF для регистрации частичных разрядов.
- Электромагнитный высокочастотный датчик частичных разрядов.
- Емкостный VHF датчик частичных разрядов.
- Бесконтактный пирометр для измерения температуры муфты.
- Датчик тока промышленной частоты для синхронизации.

Регистрация частичных разрядов в трех диапазонах частот позволяет проводить эффективную диагностику всех дефектов муфт.

Бесконтактный пирометр, встроенный в корпус Test-PD, предназначен для оценки общей температуры муфты и поиска локальных зон дефектов на поверхности муфты с повышенной температурой.

Полная информация от всех датчиков позволяет в режиме реального времени автоматически проводить диагностику состояния муфты.

Системы мониторинга высоковольтных воздушных линий электропередачи



Технологический мониторинг	Мониторинг технического состояния ЛЭП, поиск дефектов						
	Мониторинг импульсных высокочастотных процессов в воздушной линии					Дополнительные методы контроля	
Измерение температуры проводов линии	Контроль состояния подвесной изоляции	Локация мест дефектов в линии	Локация мест повреждений	Контроль обледенения проводов	Поиск замыканий на землю	Диагностика стрелы прогиба	Загрязнение изоляторов

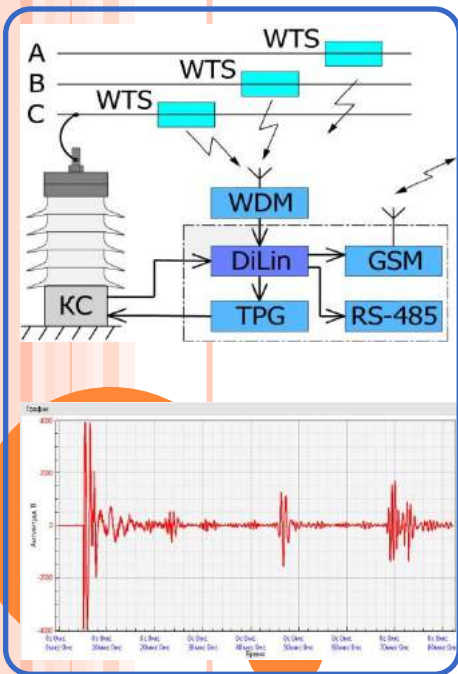
В таблице приведен перечень основных возможных диагностических функций, которые могут быть реализованы в системах мониторинга воздушных ЛЭП. В таблице показаны возможности системы мониторинга, первичные датчики которой смонтированы непосредственно на проводах контролируемой воздушной линии электропередачи.

Возможности систем мониторинга с датчиками, смонтированными «на земле», существенно меньше, так как отсутствует возможность прямого контроля провода линии, и чувствительность таких датчиков к высокочастотным импульсам значительно ниже.

Система мониторинга марки DiLin предназначена для мониторинга технического состояния высоковольтных воздушных линий при помощи датчиков, монтируемых на проводах линии и на «земле».

Возможности системы DiLin:

- Измерение текущей температуры проводов.
- Регистрация грозовых и коммутационных перенапряжений в линии с локацией места их возникновения.
- Контроль возникновения межфазных замыканий и замыканий проводов на землю с локацией мест возникновения замыканий.
- Контроль гололедных процессов в линии по изменению скорости движения волны электромагнитного поля по проводам линии.



Для контроля наличия гололеда система DiLin устанавливается на одном конце контролируемой линии в составе:

- Измерительный прибор марки DiLin.
- Генератор тестовых импульсов марки TPG.
- Конденсатор связи марки KC.
- Датчики температуры проводов линии WTS с приемником WDM..

Для реализации всех функций мониторинга и диагностики ЛЭП комплекты DiLin необходимо устанавливать на обоих концах контролируемой ЛЭП. Интегрирование и анализ информации при этом будет производиться на компьютере единого АРМ.

Работу обоих приборов необходимо синхронизировать при помощи сигналов системы глобального времени GPS/GLONASS – это является обязательным условием для проведения точной локации дефектных участков ЛЭП.



Измерительный беспроводной датчик марки WDM-T предназначен для дистанционного измерения температуры электротехнического оборудования, для которого невозможно использовать проводные датчики измерения температуры с соединительными кабелями.

Система измерения температуры проводов ЛЭП состоит из двух основных составляющих:

- Одного или нескольких беспроводных датчиков температуры WTS, смонтированных на проводах ЛЭП. Приемника информации марки WDM, установленного на земле. Приемником информации от датчиков может также служить смартфон или планшет.

- Беспроводные датчики марки WTS предназначены для контактного измерения температуры проводов ЛЭП. Датчики этого типа монтируются непосредственно на проводах линии в районе подстанции.

Для питания электроники датчика используется встроенная батарея, рассчитанная на длительный срок службы (до 25 лет), поэтому датчик не нуждается в обслуживании в течение всего срока эксплуатации.

Результаты измерений температуры провода передаются датчиком по радиоканалу с использованием протокола Bluetooth на приемник WDM, смартфон или планшет.

Базовый приемник WDM монтируется на подстанции в зоне отходящих линий. Если несколько ЛЭП расположены близко друг к другу, то для контроля температуры ЛЭП можно использовать общий приемник.



Беспроводной интеллектуальный датчик марки ОПН-Датчик предназначен для оперативного контроля ОПН 35 ÷ 500 кВ.

ОПН-Датчик состоит из датчика контроля тока утечки ОПН, установленного на проходной шпильке. Датчик регистрирует действующее значение тока утечки, разделяет емкостную и активную составляющие.

Для оценки технического состояния ОПН рассчитываются амплитуды первой, третьей и пятой гармоник.

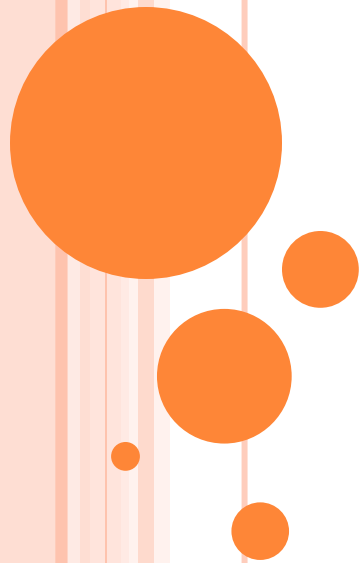
Особенности использования ОПН-Датчик:

- Монтаж датчика осуществляется путем его врезки в цепь заземления контролируемого ОПН.
- Питание микропроцессорной платы ОПН-Датчик производится от внутренней батареи длительного срока эксплуатации, поэтому у датчика отсутствуют внешние подключения к источнику питания (25 лет).
- Итоговая информация о техническом состоянии ОПН может быть просмотрена «на месте» при помощи смартфона или планшета.
- За счет отсутствия внешних коммуникаций и использования прочного силиконового корпуса датчик контроля ОПН не нуждается в обслуживании в течение всего срока его эксплуатации.

В тех случаях, когда для обслуживающего персонала наряду со знанием текущего состояния важным является знание остаточного ресурса ОПН необходимо использовать ОПН-Датчик-2. Этот датчик дополнительно позволяет регистрировать и суммировать энергию импульсов перенапряжений, прошедших через ОПН.

Стандартный ОПН-Датчик имеет изолированный корпус зеленого цвета. ОПН-Датчик-2 с встроенным регистратором импульсных токов имеет корпус синего цвета.

Системы диагностики и мониторинга коммутационного оборудования, ячеек КРУ и КРУЭ



В набор диагностических методов, используемых для контроля технического состояния выключателей в режиме «of-line», входят четыре группы технически различающихся методов:

1. Контроль состояния главных контактов:

- Контроль технического состояния поверхностей главных выключателя контактов по графикам токов в моменты замыкания и размыкания.
- Определение разновременности работы фаз выключателя на основании анализа токов.
- Контроль температуры главных контактов.
- Учет использования коммутационного ресурса выключателя статистическим методом.

2. Контроль состояния изоляционной системы:

- Контроль состояние изоляции выключателя под напряжением по наличию и распределению частичных разрядов.
- Оперативный контроль основных технологических параметров изоляционной среды выключателя (масла, элегаза).

3. Контроль механических параметров привода выключателя:

- Анализ временного графика изменения мощности, потребляемой приводным электродвигателем выключателя.
- Контроль графиков изменения токов соленоидов, управляющих работой выключателя.
- Анализ динамических процессов в выключателе, анализ состояния привода и конструкции выключателя по вибрационным параметрам.

4. Контроль параметров дополнительного оборудования, находящегося в ячейке и подключенного к выключателю:

- Контроль технического состояния подходящих шин и отходящих линий.

Диагностика технического состояния главных контактов высоковольтных выключателей в режиме on-line возможна только косвенными методами, так как доступа к главным контактам выключателя нет. Следствием этого является сравнительно низкая точность такого контроля.

В системах мониторинга на практике нашли применение следующие методы:

- Контроль коммутационного ресурса выключателя суммированием реально отключенной мощности. Такая процедура требует использования системы с контролем токов по фазам, имеющей хорошее временное разрешение.

- Контроль интенсивности и длительности горения дуги при размыкании главных контактов выключателя. Производится при помощи контроля интенсивности электромагнитного излучения дуги, или по вибрационным параметрам коммутации выключателя.

- Контроль процесса замыкания главных контактов по осциллограмме с высоким временным разрешением, равным 0,0001 секунда и менее. На таких осциллограммах видны частные замыкания, происходящие на дефектных участках контактных поверхностей.

- Контроль температуры контактов дистанционными пирометрами.

Основной проблемой контроля состояния главных контактов является то, что мы заранее не знаем, в каких условиях будет происходить следующее включение, а особенно отключение выключателя. Поэтому приходится ориентироваться на самые тяжелые условия будущей коммутации, для этого остаточный ресурс выключателя должен определяться «с запасом».

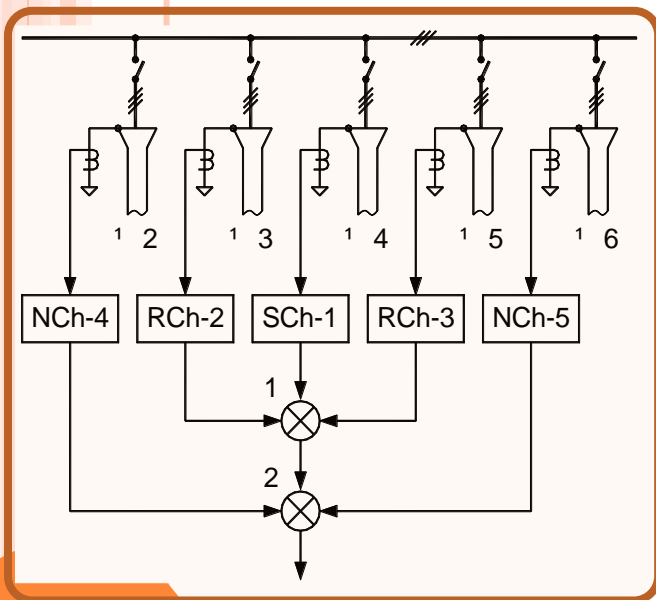
Практически все дефекты высоковольтной изоляции, причем на любой стадии своего развития, даже самой ранней, являются источниками частичных разрядов. И наоборот, их отсутствие практически однозначно всегда говорит об удовлетворительном состоянии изоляции высоковольтного оборудования.

Метод контроля изоляции по частичным разрядам является предпочтительным для коммутационного оборудования по ряду причин:

- Он обладает высокой чувствительностью к большинству дефектов в изоляции.
- Метод является «неинвазивным», т. к. допускает, и даже предполагает контроль высоковольтного коммутационного оборудования без прямого контакта с высоким напряжением.
- Метод дает возможность, при помощи датчиков частичных разрядов, установленных на выключателе, дополнительно контролировать состояние изоляции подходящих и отходящих шин и кабельных линий.

Сложности при использовании метода:

- Слабая проработка нормативной базы, отсутствие однозначно обоснованных значений пороговых параметров.
- Наличие в высоковольтной системе большого количества внешних высокочастотных помех, затрудняющих проведение диагностики.
- Сравнительно высокая сложность и стоимость оборудования, предназначенного для регистрации частичных разрядов. Для работы с таким оборудованием необходимо привлекать подготовленный диагностический персонал.



При возникновении дефектов в изоляции КРУ на основе регистрации и анализа частичных разрядов основной методической проблемой является надежная отстройка от помех, и устранение взаимного влияния рядом расположенных объекта.

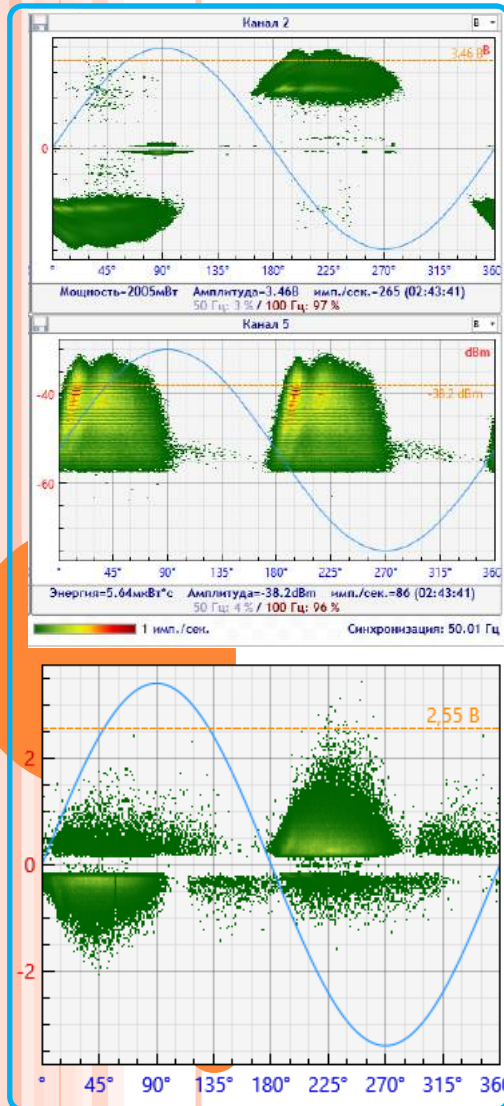
Только в этом случае возможно оперативное получение корректных диагностических заключений о техническом состоянии изоляции шин КРУ, ячеек, высоковольтных выключателей, и подключенных к ячейкам кабельных линий.

Для этих целей обычно используют два наиболее эффективных метода борьбы с помехами, реализуемых только при синхронной многоканальной регистрации:

- Метод контроля разницы во времени прихода импульсов частичных разрядов к разным датчикам, метод, чаще всего называемый «time of arrival».

- Метод сравнения амплитуды импульсов частичных разрядов, чем дальше датчик от места дефекта, тем меньше будет амплитуда импульса. При синхронной регистрации по нескольким каналам таким способом отделяются импульсы, наведенные с других фаз оборудования.

Особенностью работы аппаратных средств отстройки от помех заключается в том, что обычно они производятся в режиме реального времени, непосредственно в процессе регистрации. Только в этом случае может быть достигнута хорошая достоверность работы этих методов.



Даже после проведения эффективной аппаратной отстройки от высокочастотных помех зашумленность импульсов частичных разрядов очень высока.

Окончательное разделение импульсов помех и частичных разрядов приходится производить при помощи специальных алгоритмических методов подавления шумов.

Наиболее часто используются следующие программные методы отстройки от высокочастотных помех:

- Сравнительный анализ амплитудных параметров импульсов. Чем дальше датчик от дефекта, тем меньше будет его амплитуда
- Сравнительный анализ частотных и временных параметров всех регистрируемых высокочастотных импульсов.
- Использование связи момента возникновения импульса с фазой приложенного напряжения. Для этого используется PRPD распределение импульсов. Импульсы частичных разрядов сосредотачиваются в определенных угловых зонах, а импульсы помех обычно не связаны с фазой напряжения.

Каждому типу дефекта в высоковольтной изоляции соответствует свое специфическое распределение импульсов частичных разрядов относительно фазы синусоиды питающей сети – PRPD распределение.

Существует определенный набор стандартных PRPD распределений импульсов частичных разрядов, сравнивая с которыми можно определить тип и опасность дефекта в изоляции оборудования.



В силу ряда конструктивных и технологических особенностей коммутационного оборудования выбор набора первичных датчиков для измерения частичных разрядов, а также доступных мест их установки, существенно ограничен.

Виды наиболее часто используемых датчиков:

- Для контроля состояния изоляции высоковольтных выключателей, оснащенных стандартными вводами с измерительными выводами от последней изолирующей обкладки, используются устройства присоединения марки DB-2, позволяющие регистрировать не только частичные разряды, но и токи проводимости изоляции вводов.

- В выключателях среднего класса напряжения, вводы которых не имеют измерительного вывода, частичные разряды обычно измеряются высокочастотными трансформаторами тока марки RFCT, монтируемыми на шинах заземления корпусов и других элементов конструкции выключателей.

- Для контроля состояния изоляции баковых маслонаполненных выключателей среднего класса напряжения и элегазового оборудования часто используются акустические датчики частичных разрядов, устанавливаемые на поверхности элементов конструкции.

- Для контроля состояния изоляции элегазового оборудования чаще всего применяются высокочувствительные СВЧ (UHF) антенны различного исполнения. Достоинством этих антенн является дистанционная регистрация импульсов частичных разрядов.

Надежность работы коммутационного оборудования в значительной степени зависит от параметров работы привода выключателя.

Существует большое многообразие приводов выключателей, но основными элементами большинства из них являются моторные и пружинные и соленоидные приводы, и их различные сочетания. Система контроля состояния приводов коммутационного оборудования должна быть ориентирована на диагностику таких приводов.

Методы диагностики приводов выключателей:

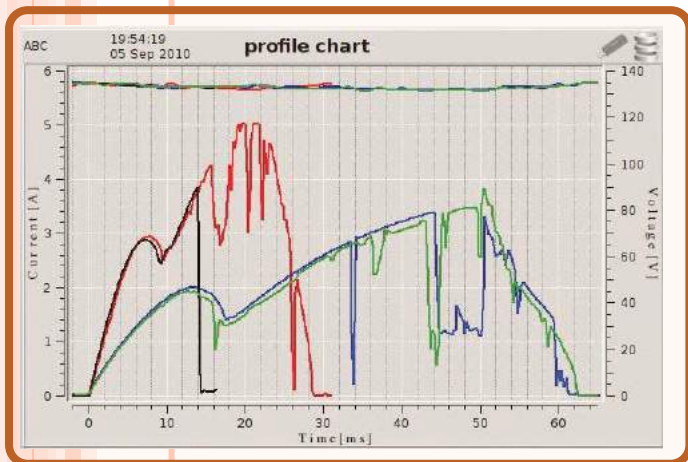
- Прямой инструментальный контроль параметров работы приводов при помощи встроенных датчиков.

- Контроль графика потребления мощности приводного электродвигателя с целью выявления дефектов привода. Появление бросков в графике потребляемой мощности на этапах «включение» – «отключение» обычно говорит о наличии дефектов в приводе.

- Контроль графиков изменения токов управляющих соленоидов. Позволяет выявлять дефекты в приводе, оценивать временные фазы коммутации выключателя.

- Контроль вибрационных процессов, сопровождающих процесс коммутации. На вибрационных сигналах, зарегистрированных с высоким разрешением можно выявить механические дефекты приводов коммутационной аппаратуры.

По вибрационным сигналам в процессе коммутации выключателя также можно достаточно корректно контролировать длительность процессов горения дуги после размыкания главных контактов, оценивать общее техническое состояние конструкции выключателя.



Оперативным и простым способом контроля технического состояния приводов выключателей является регистрация и анализ токов соленоидов приводов главных контактов. Доступен для использования в режимах «on-line» и «of-line».

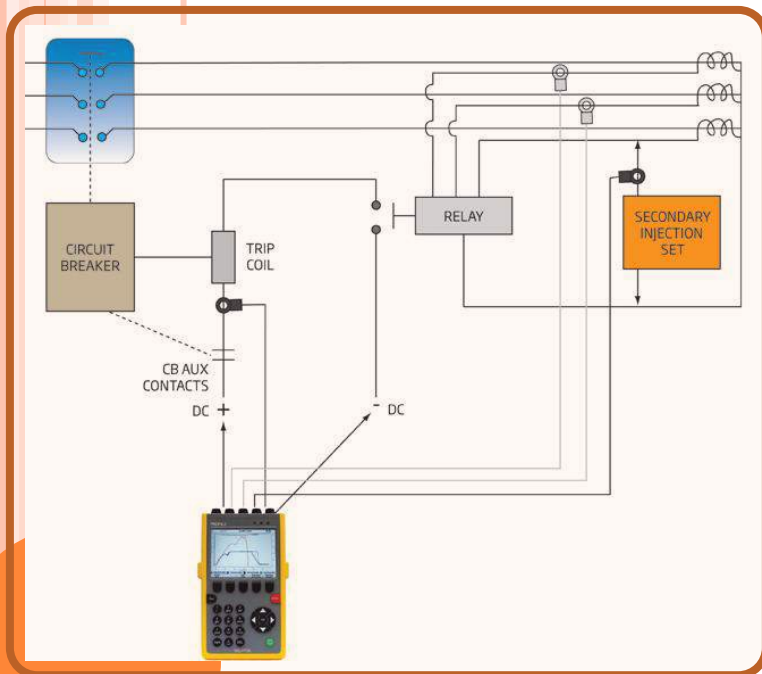
Метод не требует вмешательства в конструкцию и цепи управления выключателя, прост в использовании и интерпретации результатов проведенных тестов.

При перемещении сердечника внутри соленоида управления происходит изменение параметров катушки, пропорциональное изменению ее полного сопротивления. В результате ток через катушку соленоида пропорционально связан с положением сердечника.

Из-за наличия реактивных параметров катушки соленоида изменение тока не происходит мгновенно, а является совокупностью нескольких наложенных друг на друга переходных процессов.

В результате каждая характерная точка на графике изменения токов соленоидов управления связана с временной фазой работы привода выключателя.

Правильно интерпретируя графики токов соленоидов можно достаточно подробно, используя сравнение с эталоном, оценить работу привода.



Оптимальная по объему и стоимости система мониторинга приводов высоковольтных выключателей должна дополнительно контролировать скорость движения главных контактов в моменты коммутации.

Для этого достаточно дополнить систему контроля графиков изменения токов соленоидов управления приводов выключателя контролем одновременности срабатывания контактов фаз выключателя. Для определения этого параметра достаточно контролировать токи нагрузки, коммутируемые выключателем.

Система мониторинга высоковольтных выключателей постоянно находится в ждущем режиме, ожидая появления токов в соответствующих катушках управления. При появлении любого тока управления начинается регистрация сигналов с высокой частотой, так как процессы происходят очень быстро.

После завершения коммутации можно не только определить параметры привода, но и оценить скорость движения контактов. По графику изменения тока соленоида управления мы находим момент начала движения контактов, а по моменту появления токов нагрузки - момент завершения движения.

Контроль вибрационных параметров работы коммутационного оборудования значительно расширяет возможности мониторинга и диагностики дефектов.

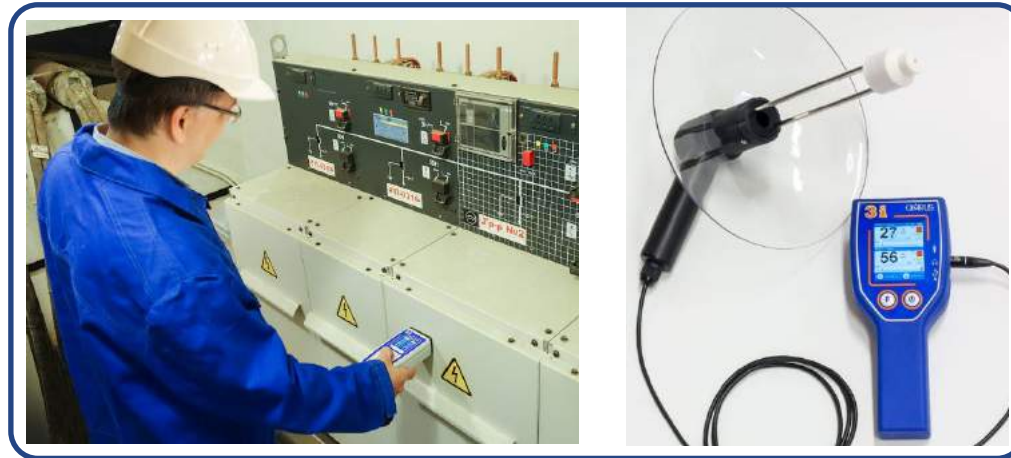
На основании регистрации и анализа вибрационных параметров работы коммутационного оборудования можно:

- Контролировать параметры динамических ударов, возникающие в конструкции выключателя в процессе коммутации. Интенсивность этих ударов связана с состоянием приводов выключателей.
- Определять основные временные фазы работы привода выключателя и моменты коммутации.
- Контролировать время горения дуги в момент разрыва главных контактов по специфическому высокочастотному вибрационному сигналу.
- Контролировать наличие заеданий, перекосов и других механических дефектов в приводе, которые сопровождаются динамическими ударами в определенные временные моменты работы выключателя.
- По спектральному составу вибрационных сигналов, описывающих свободные колебания конструкции после динамических ударов в приводе, можно контролировать состояние целостности всей механической конструкции выключателя.

Датчик для контроля вибрации может устанавливаться практически в любой точке конструкции выключателя, там, где сделать это удобнее и проще.

Изменение места установки датчика вибрации приводит к изменению амплитуд регистрируемых параметров вибрации, оставляя спектральный состав и соотношения между отдельными ударами неизменными. Вся методика диагностирования по вибрационным сигналам основана на оценке соотношения между амплитудами ударов, и спектральным составом затухающих колебаний, возникающих после ударов.

5. Мониторинг ячеек КРУ и выключателей



Компактный измерительный прибор марки 3i предназначен для регистрации и анализа частичных разрядов в коммутационном оборудовании и в ячейках КРУ.

Для удобства пользователей прибор 3i может работать в трех режимах – индикатор, диагност и эксперт. Это позволяет эффективно работать с прибором специалистам, имеющим различный уровень диагностической подготовки.

Прибор оснащен считывателем меток RFID, что позволяет проводить измерения по заранее сформированному маршруту персоналом, имеющим минимальную диагностическую подготовку. Зарегистрированная информация передается в компьютер, где автоматически обрабатывается и сохраняется. По итогам проведения измерений программой автоматически формируются отчеты о состоянии оборудования.

Таким образом реализуется эффективная система периодического мониторинга состояния ячеек КРУ.



Реле марки «IDR-10» (Insulation Diagnostics Relay) предназначено для оперативного контроля состояния изоляции шин КРУ 6 ÷ 36 кВ, ячеек, отходящих кабельных линий. Оценка состояния изоляции КРУ осуществляется на основе измерения и анализа распределения частичных разрядов.

Уникальной возможностью «IDR-10» является экспертное определение типа дефекта, выявленного в изоляции при помощи встроенной экспертной системой «PD-Expert».

Достоинством работы реле «IDR-10» является также то, что оно также выполняет стандартные функции индикатора наличия напряжения на контролируемых шинах. При помощи свечения трех светодиодов реле показывает наличие высокого напряжения в фазах, даже при отсутствии оперативного напряжения питания.

В качестве датчиков частичных разрядов в КРУ используются емкостные делители напряжения (конденсаторы связи – опорные изоляторы), устанавливаемые в настоящее время на шинах всех новых КРУ. Если такие датчики в КРУ не установлены, то их легко можно смонтировать на месте трех стандартных опорных изоляторов сборных шин, так как такие датчики также полностью выполняют функции опорных изоляторов, имеют такие же размеры и форму.



Диагностический модуль BDM/PD для контроля состояния изоляции выключателей, ячеек РУ и подходящих КЛ по частичным разрядам.

Для регистрации частичных разрядов в модуле используются встроенные датчики трех типов, работающие в разных диапазонах частот. Два датчика ЧР в диапазонах частот UHF (СВЧ) и HF (ВЧ) располагаются внутри корпуса модуля и регистрируют электромагнитное излучение. Акустический датчик ЧР может располагаться на крышке модуля, а может быть выносным.

В модуль BDM/PD встроена экспертная программа для диагностики дефектов. Работа программы базируется на основе анализа распределения импульсов частичных разрядов относительно синусоиды питающей сети.

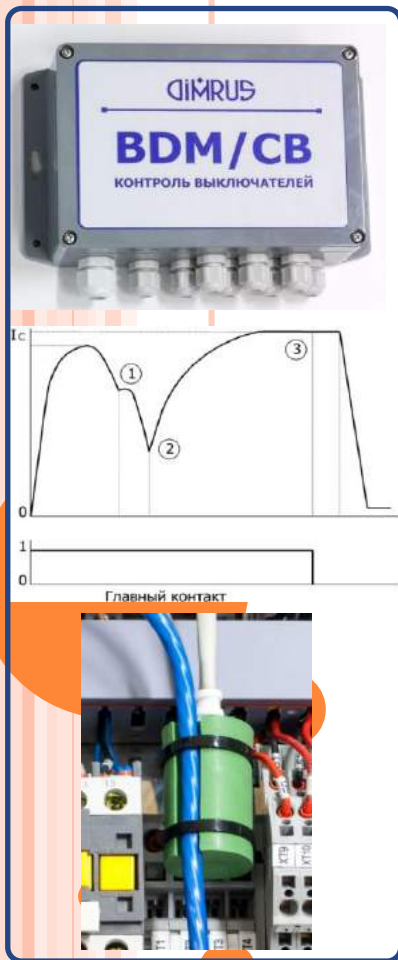
Программа позволяет эффективно отстраиваться от помех, что дополняет технические средства. При помощи этой программы также определяются типы дефектов в изоляции на основании анализа PRPD распределений частичных разрядов.

Используемые в базе экспертной системы характерные распределения ЧР соответствуют трем наиболее часто встречающимся дефектам в изоляции:

- Коронный разряд на проводнике с высоковольтным потенциалом.
- Дефект внутри высоковольтной изоляции.
- Плавающий потенциал внутри изоляции.

Для повышения информативности в состав BDM/PD входит пирометр. Для контроля общей температуры в ячейке этот дистанционный датчик может монтироваться на внешней крышке модуля BDM/PD.

Датчик температуры может быть выполнен в отдельном корпусе, в котором он поставляется вместе с акустическим датчиком ЧР. В этом случае датчик может контролировать температуру контактов, привода и т. д.



Диагностический модуль BDM/CB для контроля состояния высоковольтных выключателей.

В модуле реализовано несколько on-line методов контроля:

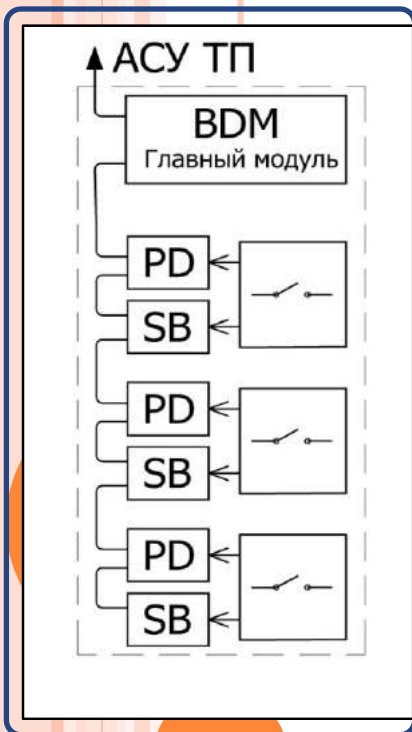
- Анализ графика мощности электродвигателя.
- Анализ графиков токов соленоидов управления.
- Контроль динамических и вибрационных процессов при коммутации.
- Определение времени замыкания и размыкания контактов фаз.
- Контроль величин фазных токов в момент отключения.

Для регистрации графиков токов соленоидов и нагрузки выключателя используются датчики тока марки CSS, разработанные для этого фирмой DIMRUS. Это накладные AC/DC датчики с изолированным корпусом, при установке которых не нужно разрывать цепи управления выключателем. Монтаж датчиков на проводниках контролируемой цепи осуществляется на при помощи нейлоновых стяжек.

На приведенном графике изменения тока соленоида отключения можно выделить характерные точки, важные для диагностики состояния выключателя:

- 0 – появление тока в соленоиде;
- 1 – срабатывание фиксатора пружины;
- 2 – начало движения контактов выключателя;
- 3 – момент отключения главных контактов.

При первых включениях и отключениях выключателя в памяти модуля BDM/CB формируются усредненные базовые кривые. В дальнейшем текущие графики изменения токов сравниваются с базовыми. Если выявляются амплитудные или временные отличия, это говорит об изменениях в работе привода выключателя.



Система BDM состоит из главного модуля и набора интеллектуальных диагностических модулей BDM/PD и BDM/S в каждой ячейке.

Система предназначена для мониторинга и оперативной диагностики состояния коммутационного оборудования. Она является элементом единой комплексной системы мониторинга подстанции, разрабатываемой фирмой ДИМРУС.

Оценка технического состояния выключателей (ячеек РУ) в системе мониторинга марки BDM производится четырьмя взаимодополняющими методами диагностики:

1 - Контроль состояния изоляции выключателя, секций шин и подходящих линий, кабельных или воздушных. Такая диагностика производится на основе измерения и анализа частичных разрядов.

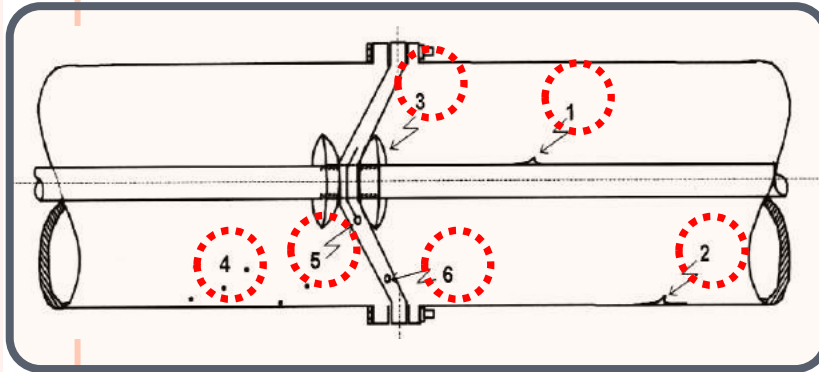
2 - Контроль работы привода выключателя. Производится по графикам изменения токов соленоидов управления и динамическим ударам в приводе.

3 - Анализ разновременности работы главных контактов по фазам. Производится по графикам изменения фазных токов, которые измеряются при помощи накладных трансформаторов тока.

4 - Контроль технологических параметров, набор которых зависит от типа контролируемого выключателя.

Каждый модуль системы BDM является интеллектуальным, дающим экспертное состояние подсистемы выключателя.

По результатам работы всех диагностических подсистем BDM экспертной программой формируется итоговое заключение, определяющее текущее комплексное техническое состояние коммутационного аппарата и ячейки КРУ.



В процессе работы КРУЭ могут возникать новые дефекты в изоляции, а могут проявиться дефекты, заложенные в конструкцию при изготовлении оборудования.

Наиболее часто встречающиеся дефекты в КРУЭ:

1 – Выступ на высоковольтном проводнике. Данный дефект проявляется как стандартная корона на высоковольтном электроде.

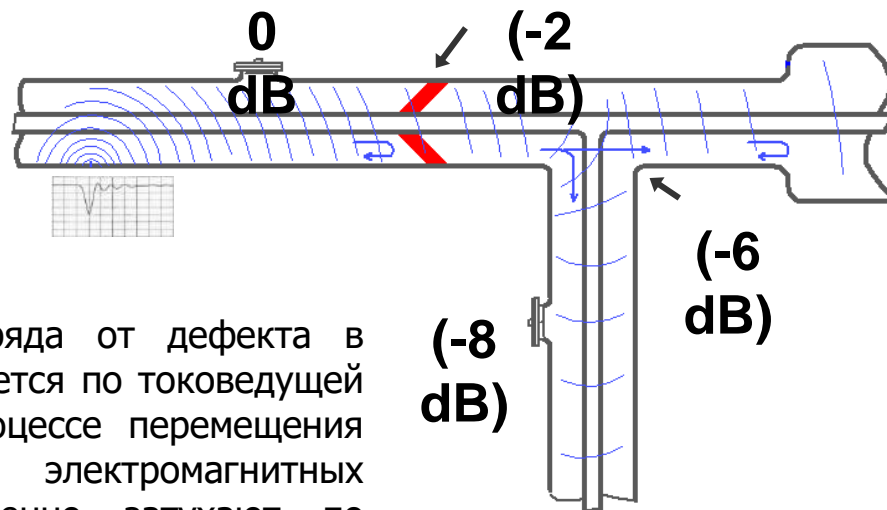
2 – Выступ на корпусе камеры. Данный дефект проявляется как частичный разряд на земляном потенциале.

3 – «Плавающая» металлическая часть, имеющая плохой контакт с токопроводящим проводником. Проявляется как стандартный плавающий потенциал.

4 – Свободные частицы внутри камеры, не имеющие контакта с проводником и корпусом оборудования. Проявляется как обычный дефект внутри объема изоляции.

5 – Пузырьки и вкрапления между экраном и изоляцией.

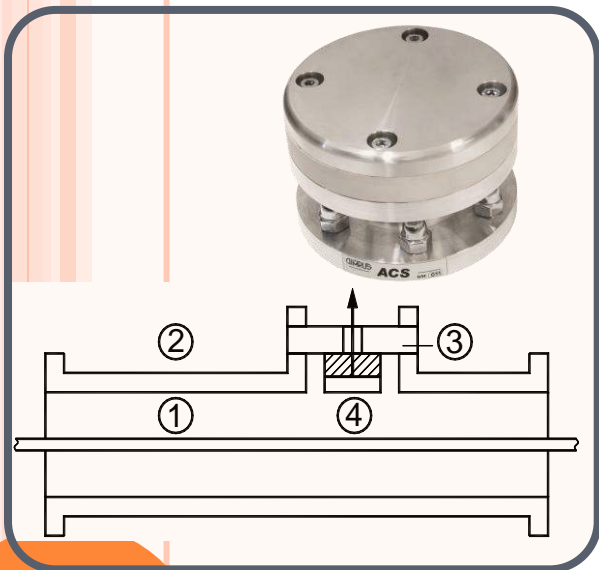
6 – Вкрапления и науглероженные участки на поверхности опорной изоляции. Форма проявления зависит от локализации дефекта.



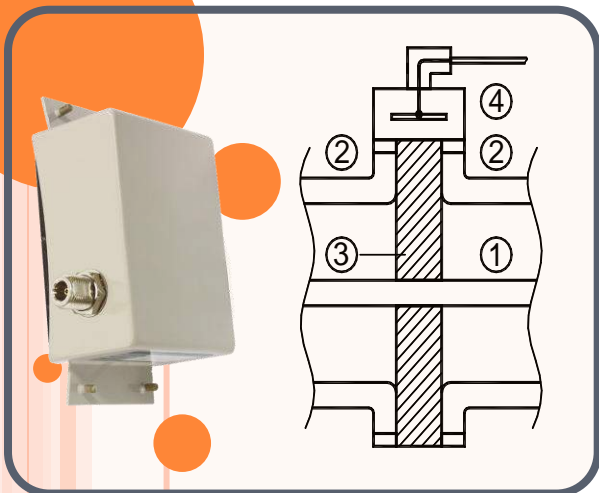
Импульс частичного разряда от дефекта в изоляции КРУЭ, распространяется по токоведущей шине в обе стороны. В процессе перемещения импульсы отражаются от электромагнитных неоднородностей, и постепенно затухают по амплитуде.

Высокочастотный сигнал наиболее сильно затухает в зонах электромагнитной нестационарности, особенно разделителях объемов (изоляторах), в местах подключения ячеек к соединительным шинам, к замыкателям, и т. д.

Максимальное расстояние, на которое распространяется импульс от частичного разряда в КРУЭ, обычно не превышает 15 метров. Исходя из этого определяется необходимое количество первичных датчиков.



Встроенный датчик частичных разрядов, устанавливаемый внутри объема КРУЭ на заводе – изготовителе оборудования.



Датчик марки «AES» производства фирмы «DIMRUS» для внешнего монтажа на изолированных разделителях перегородках. Может устанавливаться на уже смонтированном КРУЭ.



Установка датчиков частичных разрядов на смотровых окнах КРУЭ 500 кВ

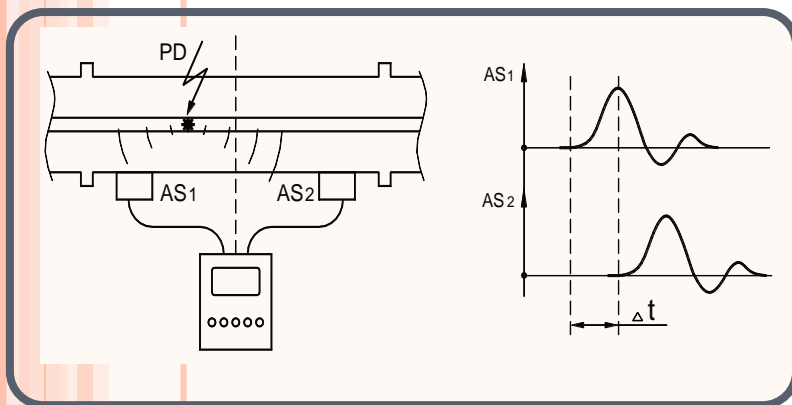


Установка датчиков частичных разрядов на разделительных изоляторах КРУЭ 110 кВ.

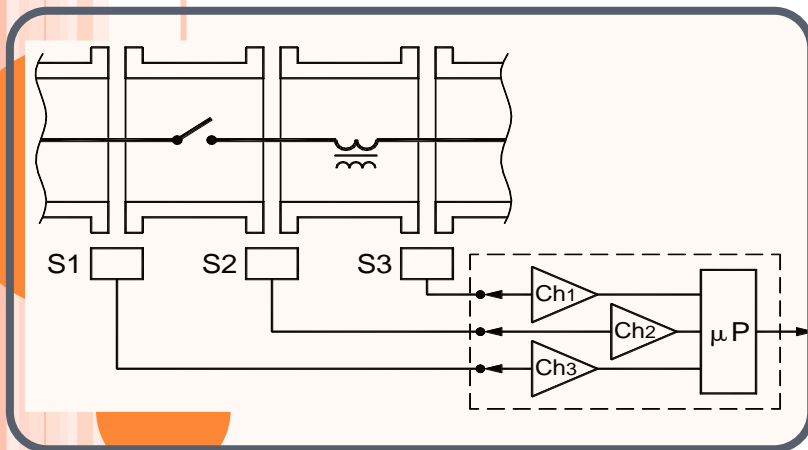


Использование стационарных датчиков частичных разрядов, установленных на заводе – изготовителе КРУЭ

5. Мониторинг ячеек КРУ и выключателей



При помощи переносного прибора и стационарно установленных датчиков.



При помощи встроенной в систему мониторинга функции, для работы которой нужна синхронная регистрация сигналов со всех датчиков.

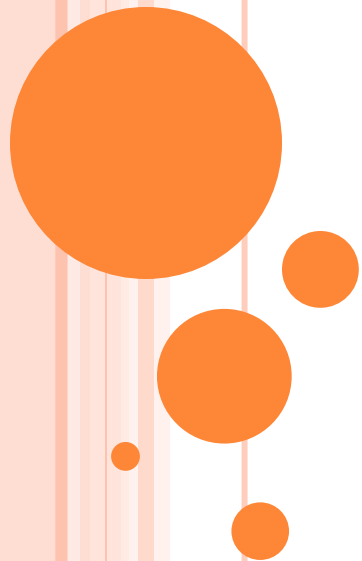


Система шести канального мониторинга марки «GIS-DM» предназначена для непрерывного контроля технического состояния оборудования с элегазовой изоляцией – КРУЭ различного исполнения, а также для измерения частичных разрядов в измерительных и силовых трансформаторах, выключателях, кабельных линиях.

Отличительными техническими и алгоритмическими особенностями системы мониторинга марки «GIS-DM» являются:

- Проведение синхронной регистрации импульсов частичных разрядов одновременно по всем шести каналам прибора. Использование такого режима дает возможность не только выявить наличие дефектов в изоляции, но и провести оперативную локацию мест их возникновения в КРУЭ, анализируя разницу во времени прихода импульсов к датчикам.
- Регистрация сигналов частичных разрядов в каждом измерительном канале прибора «GIS-DM» производится сразу в двух частотных диапазонах – HF (ВЧ) и UHF (СВЧ), т. е. перекрывая широкий диапазон частот от 50 кГц до 1 ГГц. Это позволяет одинаково успешно регистрировать как сверхвысокочастотные импульсы, возникшие внутри оборудования, в непосредственной близости от измерительного датчика, так и более низкочастотные импульсы, возникшие на большем удалении.

Системы диагностики и мониторинга электрических двигателей и генераторов





Система мониторинга MDR-3/UHF предназначена для контроля технического состояния изоляции обмоток статоров высоковольтных электрических машин по частичным разрядам.

Возможности системы MDR-3/UHF:

- Оценка технического состояния изоляции обмотки статора и оперативная диагностика дефектов по частичным разрядам в диапазоне частот, от сотен килогерц до сотен мегагерц.
- Возможность использования в качестве датчиков конденсаторов связи (диапазон HF и VHF). Чувствительность системы с такими датчиками зависит от удаления дефектной секции обмотки от конденсатора связи.
- **Наличие встроенного в прибор набора эффективных программно-технических средств отстройки от высокочастотных помех.**
- Наличие в составе программного обеспечения экспертной системы PD-Expert, позволяющей определить тип дефекта.

Поставка и особенности монтажа:

- Измерительный прибор PD-Analyzer HF/UHF в прочном защитном металлическом корпусе, который может монтироваться автономно.
- Набор датчиков частичных разрядов в соответствии с техническим заданием (HF конденсаторов связи и UHF антенн).
- Программное обеспечение мониторинга и экспертной диагностики дефектов в изоляции статора.

Прибор системы монтируется рядом с электрической машиной в защитном корпусе. Это обеспечивает короткие кабельные линии, хорошую защиту от помех, высокую чувствительность.



Система мониторинга марки FDM (Fourier Diagnostics Monitor) предназначена для контроля технического состояния асинхронных электродвигателей переменного тока по спектру потребляемого тока.

Отличительные особенности системы марки FDM:

- Система FDM имеет бесконтактное исполнение. К изолированному корпусу не подключено ни одного провода. - Для работы прибора FDM не нужно использовать внешний источник питания. Прибор монтируется непосредственно на одном из трех фазных проводов подключения электродвигателя. Напряжение питания для схемы берется от встроенного трансформатора тока.

- При включении электродвигателя прибор FDM автоматически включается в работу.

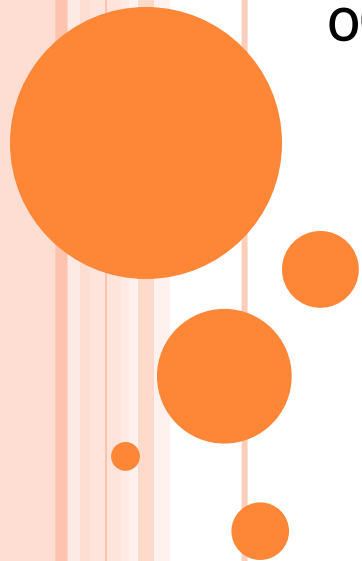
- В состав электронной части системы FDM входят два процессора, при помощи которых происходит регистрация сигналов, обработка спектров токов, диагностика дефектов.

- Передача информации от системы FDM в систему АСУ-ТП производится по беспроводному интерфейсу Bluetooth. Приемником информации может являться смартфон, планшет или стационарный приемник сигналов марки WDM, подключенный к системе АСУ-ТП.

По результатам анализа спектров тока производится диагностика четырех типов дефектов:

- Проблемы КЗ клетки ротора.
- Эксцентриситет воздушного зазора.
- Межвитковые замыкания в статоре.
- Дефекты опорных подшипников.

Системы диагностики и мониторинга вспомогательного оборудования высоковольтных подстанций





На подстанциях работает большое количество различного высоковольтного оборудования и конструктивных элементов, от технического состояния которого зависит надежность электроснабжения потребителей.

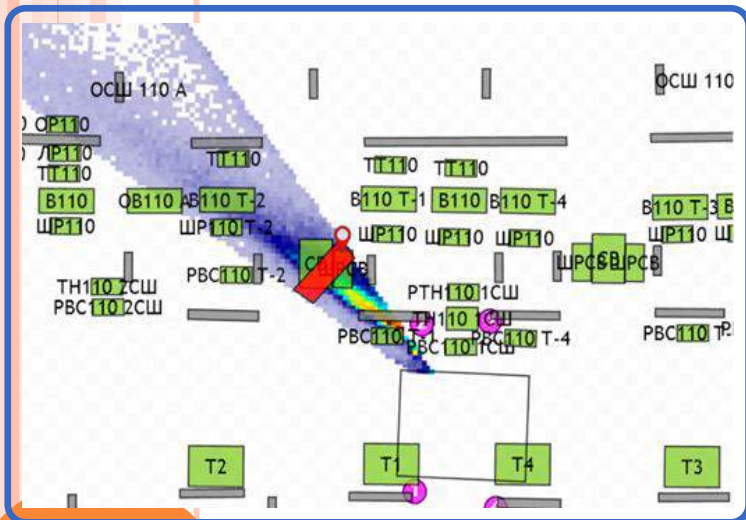
Эффективность установки систем мониторинга на таком оборудовании низка из-за его небольшой стоимости с одной стороны, и сложности организации процесса мониторинга под напряжением.

Диагностика состояния оборудования при помощи системы PD-Мар осуществляется на основе дистанционной регистрации и анализа разрядной активности на подстанции (частичных разрядов) в СВЧ диапазоне частот.

Достоинством системы PD-Мар является то, что она контролирует состояние изоляции всего высоковольтного оборудования, находящегося на подстанции, включая опорную и подвесную изоляцию.

Основу системы PD-Мар составляют 4 СВЧ антенны, которые устанавливаются на конструктивных элементах подстанции квадратом со стороной не менее 5 метров. Они могут быть смонтированы на крыше зданий подстанции и на различных опорах и порталах. Сигналы от антенн регистрируются и обрабатываются прибором PD-Мар.

Для поиска и локализации мест возникновения дефектов в изоляции высоковольтного оборудования используется специализированная многоканальная измерительная аппаратура, имеющая высокую чувствительность и очень высокое временное разрешение – в единицы и даже доли наносекунд.



Расстояние до дефекта, м	Величина импульса ЧР, рК
5	80
10	130
20	200
50	600
100	900
250	3000

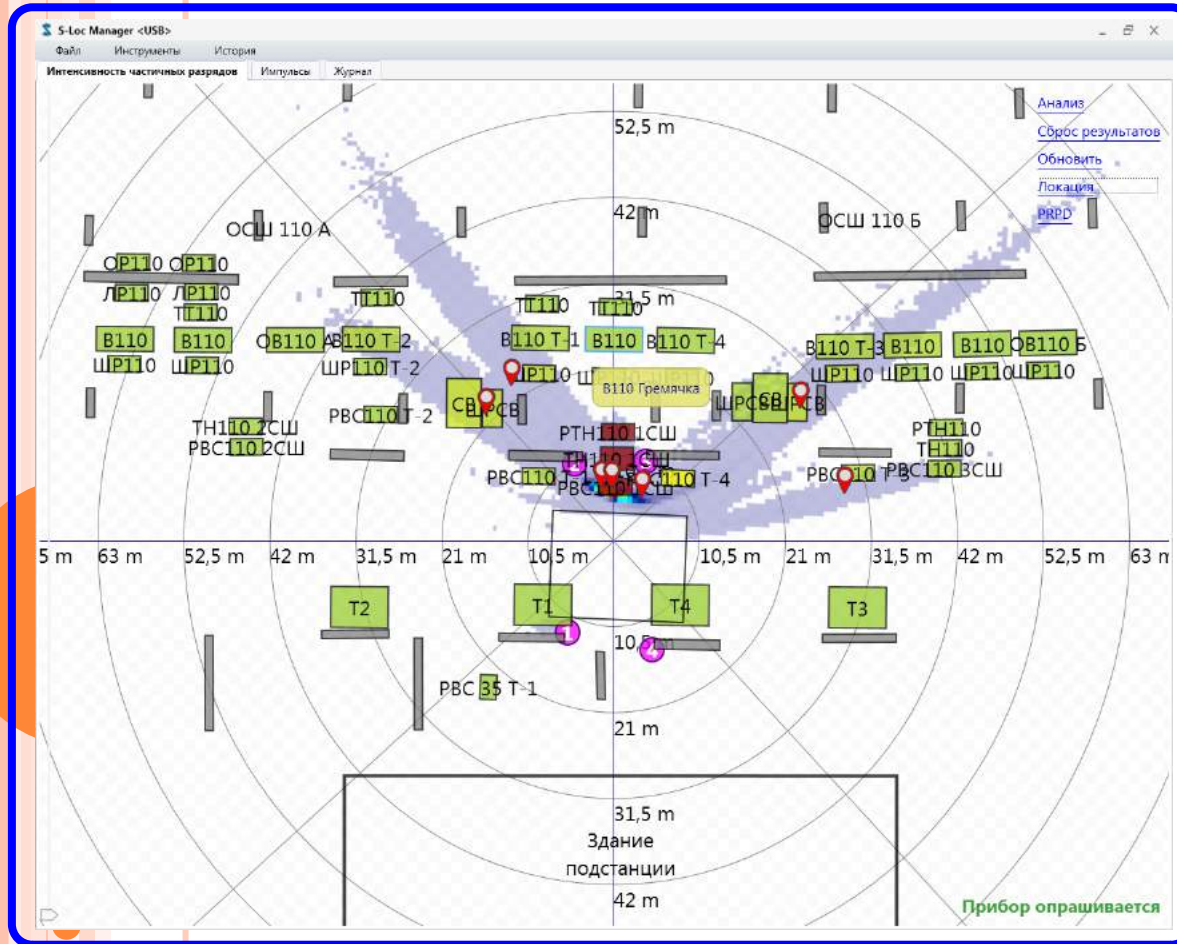
Поиск и локация дефектного оборудования на подстанции при помощи системы мониторинга PD-Мар производится по результатам контроля разницы времени прихода в прибор высокочастотных импульсов. Эта разница во времени прихода импульсов к различным СВЧ антеннам возникает из-за разного удаления антенн от дефекта.

Для каждой пары антенн решается стандартная триангуляционная задача, определяющая направление и расстояние до дефекта. Точность такой локации достигает до 2-5 метров.

Чувствительность системы PD-Мар к проблемам в изоляции высоковольтного оборудовании зависит от расстояния между дефектом и «центром» антенного квадрата.

Чем ближе оборудование расположено к антеннам, тем меньшие по амплитуде высокочастотные импульсы частичных разрядов может зарегистрировать и выявить система мониторинга. полученные данные отображаются на экране компьютера в виде плана подстанции с нанесенным оборудованием.

На этом плане цветом показывается состояние каждой единицы оборудования.



Пример распределения
разрядной активности на
реальной подстанции
110/10 кВ.



Разработан передвижной вариант системы PD-Мар, диагностическая лаборатория, смонтированная на микроавтобусе. Она позволяет периодически контролировать состояние оборудования на нескольких открытых подстанциях.

Для проведения измерений лаборатория PD-Мар заезжает на территорию подстанции, антенны оперативно переводятся из транспортного положения в рабочее состояние.

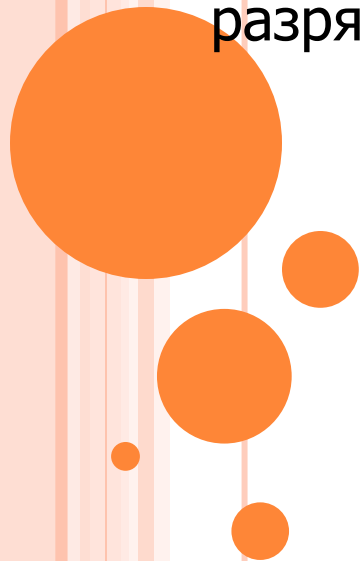
Место нахождения автомобиля «привязывается» к различным характерным точкам на территории подстанции, в которых планируется проводить круговую регистрацию интенсивности высокочастотных разрядных процессов.

Основой для проведения такой привязки лаборатории может служить план подстанции, аэрофотоснимок или даже информация от картографических систем в интернете.

Производится регистрация электромагнитного излучения в выбранной точке подстанции. Оборудование PD-Мар работает в СВЧ диапазоне частот, поэтому имеет малую чувствительность к импульсам коронных разрядов.

Совместная обработка результатов синхронной регистрации сигналов со всех четырех датчиков позволяет определить направление и расстояние до источника импульсов. Место возникновения дефекта определяется как точка пересечения «лучей» наибольшей интенсивности разрядного излучения на плане подстанции. Для повышения точности локации дефектов измерения повторяются в нескольких точках на территории подстанции.

Приборы и системы для регистрации и анализа частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования



Переносное оборудование, предназначенное для регистрации частичных разрядов, можно подразделять по нескольким группам наиболее важных диагностических параметров:

- Приборы, регистрирующие частичные разряды в различных диапазонах частот - ультразвук (LF), высокочастотный диапазон (HF) и сверхвысокочастотный (UHF). Выбор рабочего диапазона зависит от типа контролируемого оборудования и видов дефектов, характерных для этого оборудования.

- Одноканальные или многоканальные измерительные приборы для регистрации частичных разрядов. Более информативными, но и более сложными, являются многоканальные приборы.

- Для многоканальных приборов важным является вид регистрации – синхронно (одновременно) по всем каналам прибора, или асинхронно, поочередно, канал за каналом. Более современными являются приборы с синхронной регистрацией сигналов по всем каналам, которые позволяют максимально эффективно отстраиваться от высокочастотных помех, имеющих параметры, близкие к импульсам частичных разрядов.

- Приборы, предназначенные для использования только специально подготовленным диагностическим персоналом, или доступные неподготовленному персоналу – эксплуатационному и ремонтному.

- Чем выше будет уровень экспертного и диагностического программного обеспечения, реализованного в конкретном измерительном приборе, тем выше будет диагностическая, а значит и экономическая эффективность практического использования этого прибора.

- В идеальном случае информация от переносных приборов регистрации ЧР должна интегрироваться с результатами работы систем мониторинга.



Универсальный прибор марки PD-Analyzer HF/UHF предназначен для оперативной регистрации частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования.

Прибор PD-Analyzer HF/UHF является наиболее функционально полным и универсальным переносным прибором в линейке продукции DIMRUS, предназначенной для регистрации частичных разрядов.

Возможности прибора PD-Analyzer HF/UHF:

- Наличие 6 независимых измерительных каналов, регистрация сигналов в которых производится абсолютно синхронно.
- Возможность регистрации частичных разрядов в широком диапазоне частот, включающем HF (ВЧ) и UHF (СВЧ) диапазоны.
- Подключение к прибору любых датчиков частичных разрядов, работающих в HF и UHF диапазонах частот.
- Наличие в приборе эффективных технических и программных средств отстройки от высокочастотных помех.
- Использование в составе программных средств прибора ПО INVA-Portable встроенной экспертной системы PD-Expert, предназначенной для автоматизированной диагностики дефектов в изоляции высоковольтного оборудования.
- Автоматизированное определение типа дефекта в изоляции, оценка степени его опасности.
- Локация места возникновения дефекта (для кабельных линий).
- Возможность питания прибора от сети и от аккумулятора.

Несколько приборов PD-Analyzer HF/UHF можно объединять в единый измерительный комплекс, синхронизировав их работу по сигналам системы GPS.



Компактная версия универсального шестиканального прибора PD-Analyzer для регистрации и анализа частичных разрядов, имеющая три измерительных канала.

Трехканальная версия прибора PD-Analyzer-3 выпускается в компактном корпусе размером 220*155*45 мм (на фото прибор с модулем питания).

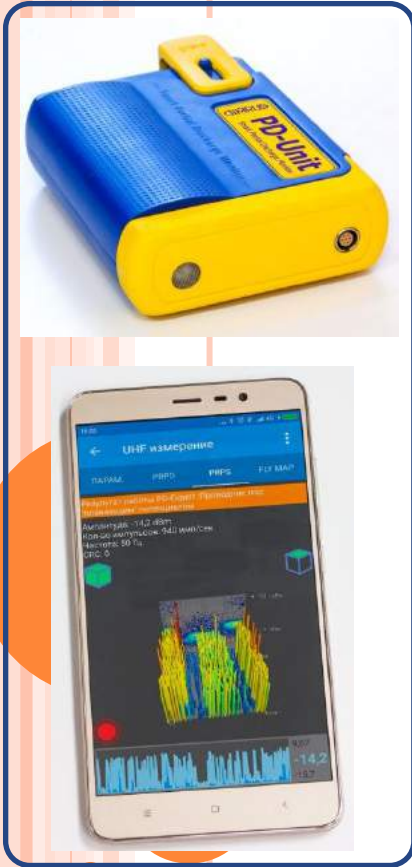
При использовании современных ноутбуков для работы измерительного прибора внешний блок питания не нужен. Прибор достаточно подключить к разъему USB ноутбука для управления прибором и питания (ток, потребляемый прибором 1А).

Прибор PD-Analyzer-3 стандартно поставляется без датчиков частичных разрядов.

Пользователь может выбрать необходимые датчики по каталогу фирмы, а может приобрести специально подготовленные наборы датчиков, предназначенные для проведения измерений в оборудовании определенных типов:

- Набор датчиков PD Sensors-CL предназначен для проведения измерений в изоляции высоковольтных кабельных линий.
- Набор датчиков PD Sensors-GIS предназначен для проведения измерений в высоковольтном элегазовом оборудовании.
- Набор датчиков частичных разрядов марки PD Sensors-RM предназначен для проведения измерений в обмотках статоров высоковольтных электрических машин.

Наличие аккумуляторного модуля питания и интерфейса связи Wi-Fi позволяет при помощи PD-Analyzer-3 проводить измерения частичных разрядов на элементах оборудования, находящихся под напряжением.



Переносный измерительный прибор марки PD Unit предназначен для оперативного контроля состояния изоляции под рабочим напряжением.

Особенности прибора PD Unit:

- Отсутствие на корпусе прибора экрана и клавиатуры – управление всеми функциями регистрации и анализа частичных разрядов выполняется с обычного смартфона или планшета с использованием стандартного беспроводного интерфейса связи.
- Наличие в приборе встроенных датчиков регистрации частичных разрядов в ультразвуковом диапазоне частот и в HF диапазоне.
- Возможность подключения внешних датчиков 4 типов.

Прибор позволяет проводить измерение частичных разрядов в изоляции КРУ, концевых и соединительных муфт КЛ, оборудования с элегазовой изоляцией (КРУЭ), в высоковольтном оборудовании бакового исполнения – силовых трансформаторов, выключателей и т.д.

Прибор PD Unit поставляется в 2 модификациях: стандартной и расширенной. В стандартную поставку входит прибор со встроенными датчиками.

В состав расширенной поставки входят дополнительные датчики:

- Внешний акустический датчик.
- Высокочастотный трансформатор тока типа RFCT.
- Датчик высокочастотных поверхностных токов растекания TEV.
- Датчик UHF диапазона частот.

Благодаря управлению по беспроводному каналу связи и наличию встроенного аккумуляторного питания прибор PD Unit позволяет проводить измерения частичных разрядов на токоведущих частях оборудования под рабочим напряжением.



Прибор марки DIM-Loc предназначен для оперативной регистрации и анализа частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования в нескольких диапазонах частот, диагностики дефектов. Прибор позволяет проводить оперативную локацию мест нахождения выявленных дефектов.

Максимально эффективно применение прибора DIM-Loc для измерения частичных разрядов в силовых трансформаторах, измерительных трансформаторах тока и напряжения и в КРУЭ, в кабельных линиях и муфтах, в опорной и подвесной изоляции. Диагностические возможности:

Регистрация частичных разрядов в трех диапазонах частот: низкочастотном ультразвуковом диапазоне (LF), высокочастотном диапазоне частот (HF) и СВЧ (UHF) диапазоне частот.

Поиск дефектов в изоляции практически всех типов высоковольтного оборудования, определение их типа и локация места возникновения.

Состав поставки прибора Dim-LOC. Полная поставка системы включает в себя прибор DIM-Loc с 4 измерительными каналами:

- Канал измерения импульсов частичных разрядов при помощи акустического датчика.
- Канал измерения импульсов частичных разрядов при помощи датчиков типа RFCT (HF диапазон).
- Широкодиапазонный канал измерения частичных разрядов при помощи электромагнитных антенн и датчиков типа TEV (VHF диапазон).
- Канал измерения импульсов в узких полосах частот при помощи электромагнитных антенн (UHF диапазон).
- Набор датчиков для всех каналов.



- Переносный прибор марки «VMD-10» включает в себя:
- Универсальный цифровой трехфазный векторный мост - измеритель диэлектрических параметров высоковольтной изоляции (тангенс угла потерь и емкость изоляции).
 - Трехканальный измеритель и анализатор частичных разрядов в изоляции трансформаторов и кабельных линий, работающий в «HF» диапазоне частот, от 0,5 до 15,0 МГц.
 - Трехканальный измеритель частичных разрядов в элегазовом оборудовании (КРУЭ), внутри баков маслонаполненного оборудования, работающий в UHF диапазоне частот, от 100 до 1000 МГц.
 - Прибор оперативной локализации источников частичных разрядов на высоковольтных ОРУ и ЗРУ, в КРУ и кабельных сборках.
 - Регистратор высокочастотных грозовых и коммутационных импульсов в энергосистеме.
 - Цифровой регистратор трехфазных токов, напряжений, мощностей.

Переносной прибор марки «VMD-10», в основном, предназначен для проведения разовых и периодических измерений параметров изоляции.

Благодаря наличию большой встроенной памяти он может быть использован и как стационарный прибор, предназначенный для проведения измерений параметров в режиме временного мониторинга.

Особенностью VMD-10 является то, что он производит одновременное (синхронное) измерение параметров 6 векторов токов (напряжений), подключенных к входам прибора. Пользователь может самостоятельно конфигурировать измерительную схему, в результате чего доступны несколько различных вариантов.



Особенности и возможности прибора ISPD:

- Регистрация импульсов частичных разрядов при помощи датчиков UHF (СВЧ) диапазона частот, обработка, анализ и сохранения информации.
- Возможность синхронизации процесса измерений ЧР с фазой питающей сети по радиоканалу. Это позволяет выявлять тип дефекта, возникший в изоляции оборудования.
- Универсальное питание прибора ISPD - он может поставляться с встроенной батареей долгого срока службы (до 5 лет), с солнечной панелью, с питанием от информационных линий.
- Прибор ISPD позволяет проводить измерения частичных разрядов на токоведущих частях оборудования под рабочим напряжением.

Диагностические возможности прибора.

- Измерение и расчет основных диагностических параметров импульсов частичных разрядов UHF диапазона частот.
- Определение типа дефекта в изоляции на основании анализа синхронизированного распределения импульсов PRPD.
- Передача информации по протоколу Bluetooth, показ информации сигналов на экране смартфона в цифровом виде и в виде графиков.

Корректная регистрация, расчет основных параметров частичных разрядов, выявление типа дефекта, оценка его опасности – все это позволяет использовать прибор ISPD в качестве интеллектуального датчика, реле частичных разрядов.

Применение ISPD эффективно для элегазового оборудования, и оборудования, находящегося под напряжением.



Для контроля частичных разрядов в оборудовании, в котором невозможно установить высокочастотные и сверх высокочастотные датчики, используется интеллектуальный датчик марки ISPD-A.

Датчик ISPD-A представляет собой компактный модуль, который крепится на поверхности конструкции (бака) контролируемого электротехнического оборудования.

Внутри корпуса ISPD-A смонтирован акустический датчик для регистрации частичных разрядов в ультразвуковом диапазоне частот. Здесь же находится микропроцессорная часть датчика, предназначенная для:

- Регистрации и обработки импульсов частичных разрядов.
- Синхронизации процесса регистрации частичных разрядов с фазой синусоиды питающей сети.
- Определение типа дефекта в изоляции и оценка степени его опасности для дальнейшей эксплуатации оборудования.
- Благодаря встроенной экспертной системе в датчике производится комплексная оценка состояния оборудования, результат которой отображается в виде светофора состояния.

По интерфейсу связи RS-485, проложенному в одном кабеле с проводами питания датчика, информация передается в базовый модуль системы мониторинга, к которому может быть подключено несколько датчиков ISPD-A.

Применение датчика марки ISPD-A эффективно для элегазового оборудования, например, для измерительных трансформаторов тока с элегазовой изоляцией.

Спасибо за внимание

