



Устройство мониторинга частичных разрядов

CDM

(CDM-6/15/30/45, CDM-15/P)

Руководство по эксплуатации

ВЦ.411728.028 РЭ

г. Пермь

Оглавление

1. Введение	4
1.1 Назначение и состав поставки устройств серии CDM	4
2. Техническое описание устройств серии CDM	5
2.1 Описание работы устройства CDM	6
2.2 Устройство CDM-30 для контроля до 30 кабельных линий	8
2.3 Устройство CDM-15 для контроля до 15 кабельных линий	11
2.4 Устройство CDM-45 для контроля до 45 кабельных линий	12
2.5 Устройство CDM-6 для контроля до 6 кабельных линий	12
2.6 Устройство CDM-15/P для периодического мониторинга кабельных линий	12
3. Устройства контроля для измерения ЧР в кабельных линиях	14
3.1 Высокочастотный трансформатор тока «RFCT-1»	14
3.2 Высокочастотный трансформатор тока «RFCT-4.2»	14
3.3 Высокочастотный трансформатор тока «RFCT-7»	15
3.4. Конденсаторы связи марки «СС-Х/Н»	15
3.5. Особенности устройств контроля частичных разрядов	16
4. Монтаж и градуировка устройств CDM на объектах	18
4.1 Монтаж устройства CDM на объекте	18
4.2 Градуировка измерительных цепей устройства CDM	19
5. Настройка программного обеспечения устройства мониторинга CDM	21
5.1 Общие сведения о программном обеспечении	21
5.2 Описание основных функций программы	22
5.3 Проведение измерений частичных разрядов	36
5.4 Экспертная часть программы	43
Приложение А. Общие вопросы проведения измерения и анализа частичных разрядов в кабельных линиях	47
П.1.1. Параметры частичных разрядов	47
П.1.2. Алгоритмы работы прибора	48
П.1.3. Оценка состояния и диагностика дефектов изоляции по распределению импульсов частичных разрядов	53
П.1.4. Поиск места нахождения дефекта	59
Приложение Б. Диагностика дефектов при помощи экспертной системы «PD-Expert»	62
П.2.1. Основные определения и понятия для диагностических правил «PD-Expert»	62
П.2.2. Проведение диагностики системой «PD-Expert»	63
П.2.3. Пример дефекта «Внутренний разряд в изоляции»	64
П.2.4. Пример дефекта «Проводник под «плавающим потенциалом»	65
П.2.5. Пример дефекта «Коронные разряды с высоковольтного электрода»	67
П.2.6. Пример дефекта «Коронные разряды с земляного электрода»	68
П.2.7. Пример «Дефект изоляции вблизи высоковольтного электрода»	68
П.2.8. Пример «Дефект изоляции вблизи земляного электрода»	69
П.2.9. Пример дефекта «Поверхностные разряды»	69

Настоящее руководство по эксплуатации предназначено для ознакомления с работой, конструкцией и обслуживанием устройства мониторинга частичных разрядов CDM (далее по тексту – устройство CDM) и содержит технические данные, описание работы и другие сведения, необходимые для полного использования технических возможностей, правильной эксплуатации и обслуживания.

Устройство CDM изготовлено Обществом с ограниченной ответственностью «Русов» (ООО «Русов»), 614500, Российская Федерация, Пермский край, д. Ванюки, въезд Шоссейный, д. 2, офис 2208. Тел.: +7 342 212 23 18, e-mail: rusov@rusov.com.

Данное руководство по эксплуатации распространяется на все исполнения устройства CDM, выпускаемые в соответствии с техническими условиями ВЦ 411728.028 ТУ.

Перед началом работы необходимо ознакомиться с настоящим руководством по эксплуатации.

В связи с постоянным совершенствованием устройства CDM с целью повышения надежности и улучшения условий эксплуатации (без изменений его технических характеристик и конструкции) возможны отличия в тексте РЭ в части описания сервиса работы с интерфейсом программы.

1. Введение

1.1 Назначение и состав поставки устройств серии CDM

Устройство CDM (Cables Diagnostics Monitor) предназначена для постоянного мониторинга технического состояния изоляции высоковольтных кабельных линий под рабочим напряжением.

Оперативное определение технического состояния кабельных линий осуществляется на основе регистрации и анализа интенсивности и распределения импульсов частичных разрядов в изоляции.

Измерение частичных разрядов в изоляции кабельных линий производится при помощи специализированных устройств контроля. Устройства контроля для регистрации частичных разрядов в виде высокочастотных трансформаторов тока марки «RFCT» могут монтироваться на проводнике заземления экрана кабеля или же подключаться непосредственно к высокому напряжению в виде емкостного конденсатора связи марки «СС». Конкретный тип устройства контроля выбирается исходя из типа и особенностей объекта контроля.

Использование устройства CDM позволяет снизить затраты на систему диагностики из расчета на один контролируемый кабель и в то же время дает возможность эффективно отстраиваться от наводок и высокочастотных помех на контролируемый кабель, которые в условиях больших КРУ очень значительны.

Помимо мониторинга кабельных линий, устройство CDM может быть использована для контроля изоляции любого высоковольтного оборудования с использованием аналогичного набора устройств контроля.

Основными являются два способа монтажа устройства CDM. Если оно монтируется в помещении с фиксированной температурой, например, на релейном щите, то он используется без специального защитного корпуса. Если предполагается монтаж устройства CDM вне помещения или в сложных условиях, то необходимо использование защитного шкафа с подогревом.

Программное обеспечение (ПО) «Inva (portable)» является частью устройства CDM (<https://dimrus.ru>). Оно включает в себя программные модули для настройки приборов, архивирования, отображения и анализа полученных данных. Благодаря наличию встроенной экспертной системы «PD-Expert», производится оценка не только уровня частичных разрядов, но определяется тип и место дефекта в изоляции кабельной линии.

Существует версия ПО «INVA Monitor» для постоянного мониторинга и диагностики высоковольтного оборудования.

Сбор информации от устройств серии CDM возможен в двух вариантах: оперативно, с использованием выделенных линий связи и периодически с использованием переносных компьютеров.

2. Техническое описание устройств серии CDM

Серия устройств CDM, предназначенных для мониторинга технического состояния кабельных линий на основе регистрации и анализа частичных разрядов в изоляции, включает в себя 5 модификаций:

- CDM-6 – устройство CDM стационарного контроля состояния 6 кабельных линий. Эта версия устройства CDM предназначена для мониторинга наиболее ответственного высоковольтного оборудования и кабельных линий, например, для мониторинга одной 2-цепной кабельной линии.

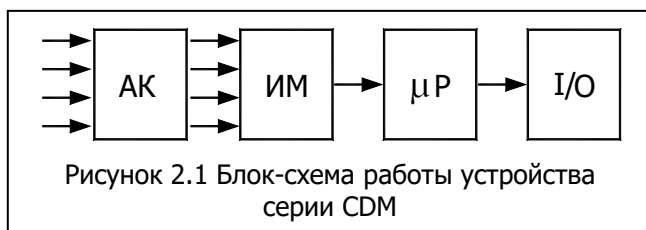
- CDM-15 – устройство CDM стационарного контроля состояния 15 кабельных линий. Эта версия устройства CDM предназначена для использования в КРУ и кабельных сборках с небольшим количеством подходящих и отходящих кабельных линий.

- CDM-30 – устройство CDM контроля состояния до 30 кабельных линий (фаз кабельных линий).

- CDM-45 – устройство CDM стационарного контроля состояния до 45 кабельных линий. Эта версия устройства CDM предназначена для использования в КРУ с большим количеством отходящих линий.

- CDM-15/P – устройство CDM периодического контроля состояния до 15 кабельных линий. Это переносная версия устройства CDM, которая используется для периодического или кратковременного контроля оборудования, например, при первом включении кабельных линий или после капитального ремонта.

Все устройства серии CDM имеют практически одинаковую электронную и программную части. Отличаются устройства CDM только количеством входных каналов и реализацией входного электронного коммутатора.



Блок-схема работы устройства CDM приведена на рисунке 2.1. Эта схема включает в себя 4 основных функциональных блока:

- Входной аналоговый коммутатор (АК) сигналов от первичных устройств контроля частичных разрядов. Количество входных каналов коммутатора в зависимости от марки

устройства CDM может составлять от 15 до 45 (в версии устройства CDM-6 коммутатор отсутствует). Количество выходных каналов коммутатора составляет всегда 6. Особенностью аналогового коммутатора АК является возможность подключения к выходным каналам шести любых входных сигналов, причем это может быть выполнено в любой последовательности.

- Измерительный модуль (ИМ) контроля и сравнительного анализа параметров шести входных сигналов, выбранных аналоговым коммутатором. Техническая реализация модуля позволяет проводить фильтрацию, отстройку от шумов и анализ сигналов по каналам в режиме реального времени. При проведении сравнительного анализа сигналов используются все основные методы анализа частичных разрядов – используются методы амплитудного сравнения, метод времени прихода импульса («time of arrival»), рассматриваются частотно-временные параметры каждого импульса, амплитудно-фазовое распределение импульсов (PRPD) и другие современные и эффективные методы анализа частичных разрядов.

- Микропроцессорный модуль для цифровой обработки и хранения импульсов частичных разрядов (μP).

- Модуль внешних интерфейсов (I/O).

Конструктивное исполнение зависит от количества контролируемых кабельных линий. Увеличение количества входных каналов требует использования большего количества входных клемм и элементов защиты, а также аналогового коммутатора более сложной конструкции.

Основные метрологические и технические параметры устройств CDM приведены в таблице 2.1

Таблица 2.1

Наименование характеристики	Значение характеристики
Номинальные значения измерения кажущегося заряда, подаваемого напрямую в каналы измерения устройства CDM при проведении поверки, пКл	10 - 10 000 пКл
Пределы относительной (Δ) погрешности измерений номинальных значений кажущегося заряда	$\pm 5 \%$
Номинальные значения измерения кажущегося заряда в высоковольтном оборудовании с использованием устройств контроля с соединительным коаксиальным кабелем длиной 15м., пКл	10 – 100 000 пКл
Количество контролируемых кабельных линий	CDM-6 до 6 CDM-15 до 15 CDM-30 до 30 CDM-45 до 45 CDM-15/P до 15
Рабочее напряжение контролируемых кабельных линий, кВ, не менее	3
Количество встроенных выходных реле управления (сухой перекидной контакт)	2 (250В, 6А)
Параметры электропитания от внешних источников: – напряжение переменного тока, В – частота переменного тока, Гц	от 198 до 253 от 48 до 52
Габаритные размеры (длина x ширина x высота), мм, не более CDM-6 234 x 190 x 50 CDM-15 267 x 204 x 50 CDM-30 267 x 204 x 74 CDM-45 267 x 204 x 74 CDM-15/P 520 x 435 x 230	
Масса, кг, не более CDM-6 1,7 CDM-15 2 CDM-30 2,5 CDM-45 2,7 CDM-15/P в транспортировочном кейсе 10	
Условия эксплуатации: - температура окружающей среды, °С - относительная влажность при +25°С, % - атмосферное давление, кПа	от –40 до +60 95 от 84 до 106,7

2.1 Описание работы устройства CDM

В Устройстве мониторинга частичных разрядов CDM на аппаратном и алгоритмическом уровнях реализованы основные функции, повышающие достоверность измерения частичных разрядов в изоляции кабельных линий.

При измерении частичных разрядов в кабельных сборках и КРУ существуют две основные проблемы: присутствие в высоковольтных кабельных линиях большого количества внешних высокочастотных шумов, затрудняющих достоверный процесс регистрации импульсов частичных разрядов, и взаимное влияние друг на друга близко расположенных в КРУ кабельных линий, затрудняющее локацию дефектной линии.

Если проблема борьбы с высокочастотными помехами является общей при измерении частичных разрядов в высоковольтном оборудовании, то проблема взаимного влияния импульсов рядом расположенных объектов в кабельных сборках проявляется особенно сильно. По этой причине в измерительном модуле устройства CDM этому уделено очень большое внимание.

В кабельных линиях, подключенных к шинам кабельных сборок чаще всего это происходит в КРУ, расстояние между точками присоединения рядом расположенных кабельных линий к общим шинам очень мало. На уровне шин КРУ оно обычно около одного метра. И даже с учетом выключателей и других элементов в ячейках КРУ и зон концевой разделки кабельных линий не превышает величины в 3 – 4 метра.

Время пролета высокочастотным импульсом такого расстояния очень мало и в абсолютном значении составляет $3 \div 6$ нс. Для того чтобы воспользоваться классическим методом определения места возникновения дефекта по времени, называемого «time of arrival», измерительная аппаратура должна иметь временное разрешение не хуже одной наносекунды.

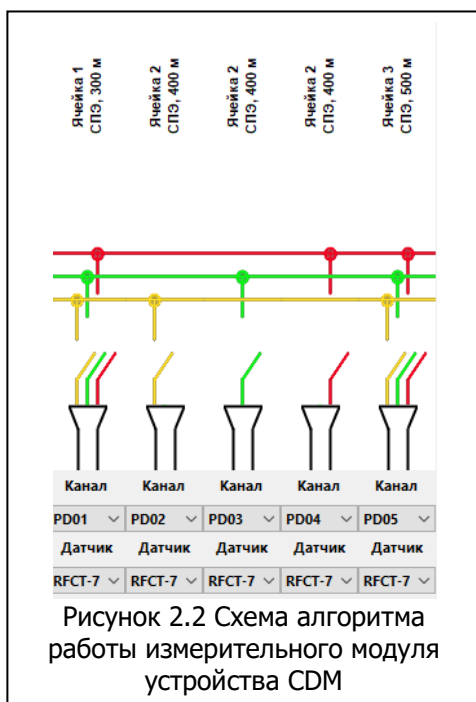


Рисунок 2.2 Схема алгоритма работы измерительного модуля устройства CDM

Рассмотрим пример работы измерительного модуля на базе простой КРУ с 3-мя ячейками. В ячейки 1 и 3 подключен трехфазный кабель, а в ячейку 2 подключено 3 однофазных кабеля (см. Рисунок 2.2.). Каналы устройства CDM подключены следующим образом: PD01 – 3-фазный кабель, ячейка 1; PD02 – фаза А, ячейка 2; PD03 – фаза В, ячейка 2; PD04 – фаза С, ячейка 2; PD05 – 3-фазный кабель, ячейка 3. За счет взаимной перенаводки импульсов с одной кабельной линии на другую уровень частичных разрядов, возникших, например, в канале PD02, на кабельных линиях PD01 и PD05 будет мало отличаться по величине.

Затухание амплитуды высокочастотных импульсов на одной фазе, между измерительными каналами PD02-PD01 и PD02-PD05 может составить всего несколько процентов, что соизмеримо с погрешностью измерений. В результате, если проводить измерения частичных разрядов в изоляции кабельных линий одноканальным прибором, то импульсы частичных разрядов примерно одинакового уровня и формы будут зафиксированы одновременно в рядом расположенных кабельных линиях, в каналах PD01, PD02, PD05 и с некоторым затуханием в других каналах.

В устройстве CDM измерение частичных разрядов производится синхронно по шести каналам, каждый из которых имеет свое назначение:

- Основной измерительный сигнальный канал ИК (PD02 в данном примере), предназначенный для регистрации импульсов частичных разрядов.
- До пяти референсных (сравнительных) каналов (PD01, PD03, PD04, PD05 в данном примере). При помощи этих каналов проверяется наличие импульсов частичных разрядов в «соседних» кабельных линиях «слева» и «справа» от контролируемого кабеля. Оценивается, не является ли измеряемый импульс наведенным от дефектов с других кабелей, используя фильтрацию по времени прибытия импульса. Если импульс является наведенным, то дополнительно определяется направление его движения.

При помощи этих же каналов производится оценка импульсов помех, приходящих в контролируемую зону извне и перенаведенных с других фаз этой же ячейки. Если в момент прихода импульса по измерительному каналу на первичных устройствах контроля других каналов амплитуда импульса будет превышать заданную амплитуду, то этот импульс не будет зарегистрирован. Он также пришел извне и никак не связан с техническим состоянием кабельной контролируемой линии (PD02 в данном примере).

Такая защищенная от помех конфигурация измерительной схемы реализована в устройстве CDM на аппаратном уровне. В ней пять из шести каналов являются сравнительными и помеховыми и только блокируют регистрацию по основному каналу.

Пример настройки алгоритмов фильтрации для канала PD02 приведен на рисунке 2.3.

	Фильтр 1 PD01	Фильтр 2 PD05	Фильтр 3 PD03	Фильтр 4 PD04	Фильтр 5 откл.
Фильтрация по амплитуде (с кабелями в той же ячейке)	☒	☐	☐	☒	☒
Фильтрация по времени прибытия (с кабелями в соседних ячейках)	☒	☒	☐	☐	☐
Порог амплитудного фильтра, %	70				
Порог фильтра по времени прибытия, %	100				

Рисунок 2.3 Пример настройки параметров фильтрации

Для каналов PD01 и PD05 (соседние ячейки) включена фильтрация по времени прибытия, а для каналов PD03 и PD04 (другие фазы этой же ячейки) включена фильтрация по амплитуде.

Для регистрации импульсов частичных разрядов в следующей кабельной линии, например, канал PD03, все первичные устройства контроля нужно иначе подключить к измерительным каналам измерительного ядра прибора.

Процедура коммутации первичных устройств контроля производится электронным коммутатором, является достаточно сложной и ответственной. От правильности ее выполнения полностью зависит достоверность проводимых измерений частичных разрядов. Конфигурация референсных (сравнительных) каналов происходит автоматически при создании конфигурации конкретной КРУ в настройках устройства CDM.

2.2 Устройство CDM-30 для контроля до 30 кабельных линий

Базовым устройством для серии Устройства мониторинга частичных разрядов CDM является устройство CDM-30. Внешний вид устройства CDM-30 приведен на рисунке 2.4.



Устройство CDM-30 производится в прочном металлическом корпусе и предназначен для установки в защитных монтажных шкафах, имеющих необходимую степень защиты от внешних воздействий.

Подключение устройства CDM-30 к устройствам контроля частичных разрядов в кабельных линиях производится с использованием стандартных винтовых клемм и специальных интерфейсных разъемов.

Конструктивно устройство CDM-30 состоит из двух электронных плат: базовой и платы расширения. На базовой плате располагаются все электронные компоненты и клеммы для подключения 15 первичных устройств контроля частичных разрядов. На плате расширения

располагается дополнительный электронный коммутатор каналов и клеммы для подключения еще 15 устройств контроля частичных разрядов.

Для подключения к измерительным каналам первичных устройств контроля частичных разрядов используется стандартный коаксиальный высокочастотный кабель (обычно РК-50-3-34), подключаемый к соединительным клеммам на плате CDM, показанном на рисунке 2.5.



Рисунок 2.5. Клеммы системы мониторинга CDM-30 для подключения первичных устройств контроля частичных разрядов и внешних коммуникаций

К этим клеммам подключаются:

- Кабели от 30 первичных устройств контроля частичных разрядов.
- Кабель для подключения внешней синхронизации измерений.
- Устройства контроля температуры и влажности.
- Экранированный кабель типа «витая пара» для подключения изолированного интерфейса связи RS-485 или Ethernet.
- Кабели для подключения сигнальных устройств, коммутируемых внутренними реле устройства CDM.
- Кабель сетевого питания устройства CDM.

2.2.2 Внешние интерфейсы и средства индикации устройства CDM-30

В устройстве CDM-30 реализованы три уровня (типа) внешних связей и коммуникаций. Они включают в себя:

- Набор стандартных цифровых интерфейсов связи и обмена первичной и обработанной информацией - RS-485, Ethernet, USB.
- Логические выходы типа «сухой контакт» для включения информационных сигналов о состоянии устройства и предаварийном состоянии контролируемых кабельных линий.
- Встроенные светодиодные индикаторы, предназначенные для отображения служебной информации о состоянии и режимах работы устройства CDM. Данные индикаторы, опционально, дублируются на лицевой панели монтажного шкафа.

2.2.2.1. Для связи с информационными системами более высокого уровня в устройстве CDM используются стандартные цифровые интерфейсы. Изолированный интерфейс типа RS-485 и интерфейс Ethernet применяются для обмена информацией с другими приборами и с системой АСУ-ТП более высокого уровня. Интерфейс USB применяется для настройки устройства CDM и обмена информацией с переносным компьютером «на месте» эксплуатации.

В зависимости от технического задания на поставку устройства кабельных линий возможна поставка устройства CDM-30 с возможностью подключения интерфейса Ethernet 3-х типов: стандартный проводной Ethernet с разъемом 8P8C (по умолчанию), оптический Ethernet с разъемом SC (одномодовое или многомодовое исполнение).

2.2.2.2 Для реализации функций включения дополнительных устройств сигнализации в устройстве CDM-30 имеется два электромеханических реле:

- Реле текущего технического состояния устройства CDM - «Status». После подачи напряжения питания устройство автоматически переходит в режим внутреннего тестирования и проверки входных каналов. Если все проверки выполнены успешно, то устройство переходит в основной режим мониторинга, о чем свидетельствует включение реле «Status». Реле постоянно включено при нормальном режиме работы устройства CDM. При возникновении ошибки и при выключении устройства CDM контакты реле переключаются в исходное положение.

- Реле предаварийного состояния контролируемого оборудования - «Alarm». Реле замыкается при превышении порога предаварийного состояния. Одновременно начинает светиться красный светодиод на панели устройства. Реле «Alarm» автоматически отключается при снижении значения параметра ниже заданного порога.

Устройство CDM опционально выпускается с внешней светодиодной индикацией технического состояния каждого контролируемого кабеля. Информационные светодиоды расположены на двери монтажного шкафа. Один светодиод – зеленый и до 45 красных светодиодов в зависимости от модификации устройства CDM.

Зеленый светодиод дублирует функцию реле и светодиода «Status» расположенного на корпусе устройства CDM. Индикация красным светодиодом относится к отдельному каналу устройства: кабелю или фазе кабеля, в зависимости от его типа. Красный светодиод внешней индикации имеет 3 режима работы:

- Светодиод «не светится» – состояние изоляции контролируемого кабеля в норме.
- Светодиод «мигает» – параметры ЧР кабеля (фазы) превысили порог ухудшенного состояния, но не превысили предаварийный.
- Красный светодиод светится постоянно – параметры ЧР кабеля (фазы) превысили предаварийный порог. Включено общее реле «Alarm».

2.2.2.3 На панели устройства CDM располагаются три информационных светодиода, описывающих состояние CDM.

Светодиод состояния устройства (Status, зеленый). Этот светодиод светится постоянно при нормальном состоянии CDM. Быстро, примерно 2 раза в секунду он включается и отключается при ошибке или неисправности CDM. Если светодиод не светится, то CDM выключен или неисправен.

Светодиод ухудшенного состояния (Warning, желтый). Светится постоянно при превышении порога ухудшенного состояния контролируемых параметров. При наличии превышения параметром предаварийной границы светодиод отключается.

Светодиод предаварийного состояния (Alarm, красный). Светодиод светится постоянно при превышении контролируемыми параметрами предаварийного порога.

Устройство CDM дополнительно имеет 4 информационных светодиода, описывающих состояние двух интерфейсов RS-485 (по два светодиода на каждый интерфейс):

- Светодиоды не светятся, если интерфейс не подключен или отсутствует обмен данными;
- Постоянно светится красный светодиод, если цепи интерфейса Data+ и Data- подключены не корректно;
- Моргает красный светодиод при запросах и зеленый при ответах устройства при нормальном подключении и наличии передачи данных.

2.2.3 Монтаж устройства CDM-30 на объектах

Устройство CDM-30 изготавливается в прочном металлическом корпусе, предназначенном только для механической защиты электронных плат, но не имеющем защиты от воздействия влаги, пыли и других внешних воздействий. Для обеспечения защиты CDM от любых внешних климатических воздействий CDM дополнительно монтируется внутри специального монтажного шкафа.



Рисунок 2.6 Устройство CDM-30 для системы мониторинга до 30 кабельных линий в монтажном шкафу

Конструктивное исполнение этого монтажного шкафа определяется будущими условиями эксплуатации, которые заранее оговариваются в техническом задании на поставку устройства кабельных линий. Монтажный шкаф устройства может быть металлическим, пластиковым, иметь устройства подогрева.

Внешний вид устройства CDM-30 в монтажном металлическом шкафу приведен на рисунке 2.6. В шкафу располагается само устройство CDM, элементы поддержания заданных температурных параметров внутри шкафа, клеммы для подключения первичных устройств контроля и внешних коммуникаций устройства мониторинга.

В зависимости от технического задания на поставку устройства на лицевой панели монтажного шкафа может располагаться линейка светодиодов, каждый из которых будет сигнализировать о техническом состоянии одной кабельной линии.

Особенностью монтажа устройств мониторинга CDM, реализующих функцию локации места возникновения дефекта в изоляции кабельных линий, а также для наиболее эффективной отстройки от помех **все соединительные коаксиальные линии от устройств контроля частичных разрядов должны иметь одинаковую и известную длину.**

Монтажные схемы и конструктивные решения при установке первичных устройств контроля, соединительных кабельных линий и самого монтажного шкафа с устройством мониторинга CDM в каждом конкретном случае рассматриваются отдельно применительно к конкретному объекту контроля.

2.3 Устройство CDM-15 для контроля до 15 кабельных линий



Рисунок 2.7 Устройство CDM-15 в монтажном шкафу



Рисунок 2.8 Внешний вид устройства CDM-15

Устройство CDM-15 отличается от базового устройства CDM-30 тем, что в нем отсутствует дополнительная электронная плата расширения входов, располагающаяся над основной процессорной платой.

Поэтому устройство CDM может контролировать техническое состояние только до 15 кабельных линий.

Все описанные в предыдущем разделе измерительные функции и диагностические возможности устройства CDM-30 в устройстве CDM-15 сохранены.

2.4 Устройство CDM-45 для контроля до 45 кабельных линий

Устройство CDM-45 предназначено для контроля технического состояния до 45 высоковольтных кабелей (однофазных или трехфазных).

Для реализации такой возможности в CDM использована модифицированная плата расширения, к которой можно подключать до 30 первичных устройств контроля частичных разрядов.

Эти 30 входных каналов плюс 15 входных каналов на процессорной плате позволяют контролировать такое большое количество высоковольтных кабельных линий одним



Рисунок 2.9 Внешний вид устройства CDM-45

устройством мониторинга. По этой причине устройство CDM-45 обычно используется на кабельных сборках и КРУ с большим количеством отходящих и подходящих высоковольтных кабельных линий.

2.5 Устройство CDM-6 для контроля до 6 кабельных линий



Рисунок 2.10 Внешний вид устройства CDM-6, установленного в монтажный шкаф

устройства CDM-6 отличается от базового устройства CDM-30 тем, что в нем отсутствует дополнительная электронная плата расширения входов и базовая плата имеет клеммы для подключения 6 первичных устройств контроля.

CDM-6 может контролировать техническое состояние только до 6 кабельных линий.

Все описанные в измерительные функции и диагностические возможности устройства CDM-6 аналогичны.

2.6 Устройство CDM-15/P для периодического мониторинга кабельных линий



Рисунок 2.11 Внешний вид переносного устройства CDM-15/P с комплектом принадлежностей

Использование устройств непрерывного мониторинга технического состояния кабельных линий позволяет в наибольшей степени минимизировать экономический ущерб от аварийных отключений по причине возникновения и развития дефектов в изоляции, однако и требует наибольших экономических затрат на создание таких устройств. Менее затратным является использование устройства периодического мониторинга состояния изоляции кабельных линий, когда измерение частичных разрядов производится кратковременно, в промежуток от нескольких часов до

нескольких суток, но через сравнительно большие временные интервалы, от месяца до года.

Такой подход к мониторингу позволяет организовать периодический контроль большого количества кабельных линий, уделяя большее внимание «тревожным» и наиболее ответственным кабельным линиям.

Существуют два варианта организации периодического мониторинга состояния кабельных линий:

- Устройства контроля частичных разрядов заранее монтируются на всех кабельных линиях, контроль которых планируется проводить измерительным прибором, и соединительные кабели от этих устройств выводятся в специальные коммутационные коробки. В этом случае подключение измерительного прибора к устройствам контроля частичных разрядов может производиться в любой момент времени и не вызывает трудностей у диагностического персонала. Недостатком такого устройства является необходимость монтажа большого количества первичных устройств контроля частичных разрядов.

- Используется всего один комплект из 15 устройств контроля частичных разрядов, смонтированных на кабельных линиях, техническое состояние которых предполагается контролировать в данный момент. Достоинством такого подхода является минимальная стоимость технических средств, при помощи которых можно контролировать большое количество кабельных линий. Недостатком является необходимость проведения монтажа первичных устройств контроля перед каждым измерением, что может сопровождаться техническими и организационными проблемами.

Для организации периодического мониторинга кабельных линий предназначено устройство CDM-15/P, показанный на рисунке 2.11.

В поставку стандартно включается:

- Устройство CDM-15 в транспортном чемодане, дополненное переносным персональным компьютером с программным обеспечением мониторинга.

- Набор из 15 устройств контроля, представляющих собой высокочастотные трансформаторы тока марки «RFCT».

- Комплект из 15 соединительных коаксиальных кабелей длиной по 6 метров.

Клеммная панель устройства CDM-15/P приведена на рисунке 2.12. К коаксиальным разъемам панели подключаются устройства контроля частичных разрядов, устройства контроля температуры и влажности окружающей среды и интерфейс USB. Режим работы светодиодной панели индикации CDM-15/P соответствует внешней светодиодной индикации устройства в стационарном исполнении.



Рисунок 2.12 Клеммная панель устройства CDM-15/P

3. Устройства контроля для измерения ЧР в кабельных линиях

Для организации мониторинга технического состояния изоляции кабельных линий необходимо использовать устройство контроля частичных разрядов, адаптированные для кабельных линий. Для этих целей могут быть использованы высокочастотные трансформаторы тока «RFCT» или специальные емкостные устройства, которые чаще всего называют конденсаторами связи.

3.1 Высокочастотный трансформатор тока «RFCT-1»



Это устройство является неразъемным высокочастотным трансформатором тока. Конструктивно «RFCT-1» выполнен в виде цельного неразъемного кольца. Поэтому устройства контроля этой марки обычно монтируются стационарно. Отсутствие в высокочастотном трансформаторе тока встроенных средств защиты от импульсных перенапряжений еще больше ограничивает сферу его применения – он может быть использован для контроля кабельных линий с рабочим напряжением не выше 10 кВ.

Центральное отверстие «RFCT-1», через которое проходит заземляющая жила, изолирована и позволяет защищать измерительную цепь устройства мониторинга частичных разрядов только от напряжений до 1000 Вольт.

Основное назначение высокочастотного трансформатора тока – регистрация импульсов от частичных разрядов в заземляющих проводниках и шинах. Для устройств серии «CDM» чаще всего это заземляющие цепи экранов кабельных линий.

Для исследовательских и лабораторных устройств мониторинга частичных разрядов CDM устройство марки «RFCT-1» выпускается с разъемом типа BNC. Для устройств мониторинга CDM, устанавливаемых на контролируемых объектах, выпускается высокочастотный трансформатор тока с винтовым коаксиальным разъемом марки TNC.

Для специальных условий эксплуатации (для установки на улице, при интенсивном ультрафиолетовом облучении и т. д.) выпускается защищенная модификация устройства контроля марки «RFCT-1», заключенная в металлический корпус.

3.2 Высокочастотный трансформатор тока «RFCT-4.2»



Это высокочастотное устройство контроля изготовлено на основе кольцевого высокочастотного сердечника большого размера и отличается большим внутренним диаметром и разъемной конструкцией, что очень удобно при монтажных работах.

С целью обеспечения безопасности входных цепей CDM (из-за большого сечения сердечника по нему может передаваться большая мощность) в обмотку высокочастотного трансформатора тока включены импульсные ограничители перенапряжений.

Высокочастотный трансформатор тока предназначен для монтажа на проводниках и шинах заземления экранов и корпусов оборудования.

Корпус «RFCT-4.2» разъемный – из 2-х частей. Внутренний диаметр высокочастотного трансформатора тока, через который может проходить токоведущий элемент конструкции контролируемого оборудования, составляет 56 мм.

При монтаже на элементах оборудования, по которым протекает ток промышленной частоты большой амплитуды, соединять половинки устройства контроля нужно с изолирующей прокладкой толщиной до 3 мм. Это нужно делать для того, чтобы избежать насыщения

сердечника. Чем больше будет ток промышленной частоты, протекающий по элементу конструкции оборудования, на котором смонтирован высокочастотный трансформатор тока, тем больше должен быть немагнитный и не проводящий зазор. При токах до 100А достаточно зазора 0.5мм.

Рабочее напряжение на конструкции оборудования, которое допускается в месте установки высокочастотного трансформатора тока, по условиям безопасности не может быть больше 1000 Вольт.

Высокочастотный трансформатор тока «RFCT-4.2» производится в металлическом защитном корпусе и может монтироваться на улице.

3.3 Высокочастотный трансформатор тока «RFCT-7»



Рисунок 3.3 Датчик частичных разрядов марки «RFCT-7»

Специально для использования в устройствах мониторинга CDM для высоковольтных кабельных линий разработан высокочастотный трансформатор тока «RFCT-7».

Отличительные особенности устройства контроля «RFCT-7»:

- Разъемная конструкция, в которой предусмотрена жесткая фиксация половинок корпуса.
- Наличие трех модификаций высокочастотного трансформатора тока, рассчитанных на протекание токов промышленной частоты величиной 50, 500 и 1000А.

- Датчик производится в литом пластиковом (АВС пластик) корпусе, в двух половинах которого располагается разрезанный высокочастотный прямоугольный сердечник большого сечения. В датчик «RFCT-7» встроена защита от

импульсных токов (коммутационных) с ограничением выходного напряжения на уровне 15 В. Датчик может монтироваться только в помещениях.

Размер внутреннего окна высокочастотного трансформатора тока «RFCT-7» составляет 37*37 мм.

3.4. Конденсаторы связи марки «СС-Х/Н»



Рисунок 3.4 Конденсаторы связи марки «СС-Х/Н»

Конденсаторы связи марки «СС-Х/Н» (Coupling Capacitor, на рабочее напряжение 12, 24 или 36 кВ) предназначены для регистрации частичных разрядов в элементах высоковольтного оборудования, находящихся под рабочим напряжением 6 ÷ 35 кВ. Это единственная модификация первичных устройств контроля, которые подключаются на полное рабочее напряжение контролируемого оборудования.

Величина внутренней емкости конденсаторов СС-12/Н и СС-24/Н составляет 1000 пикофард, а СС-36/Н – 670 и 1000 пикофард в зависимости от модификации.

Конденсатор связи монтируется на «заземленном» основании, а верхняя точка его подключается к токоведущей

желе контролируемой кабельной линии, в которой предполагается проводить измерения частичных разрядов.

Особенностью использования конденсаторов связи является необходимость монтажа специальных плат или «проходных» высокочастотных трансформаторов тока типа «RFCT». Если конденсатор просто смонтировать на металлическом заземленном основании, то импульсы частичных разрядов просто замкнутся на землю. Поэтому под конденсатором связи монтируется переходная плата с необходимой электроникой, через которую конденсатор соединяется с «землей».

3.5. Особенности устройств контроля частичных разрядов

Наиболее часто для мониторинга состояния кабельных линий используются высокочастотные трансформаторы тока марок «RFCT-7», которые монтируются внутри ячеек КРУ.

В зависимости от необходимого внутреннего диаметра используются устройства марок «RFCT-1», «RFCT-4.2» или «RFCT-7». Они имеют на выходе только высокочастотный сигнал.



Внимание! Высокочастотные трансформаторы тока монтируются только на жилу заземления, так как они имеют изоляцию на напряжение до 1000 Вольт.

Если подключиться к проводнику заземления экрана кабеля невозможно, то необходимо использовать конденсаторы связи марок «СС-Х/Н» или их аналоги для подключения непосредственно к токоведущей жиле. Выбор конкретной марки первичного устройства контроля зависит от класса напряжения. Все конденсаторы «СС-Х/Н» имеют на выходе комплексный высокочастотный сигнал и сигнал синхронизации с сетью.

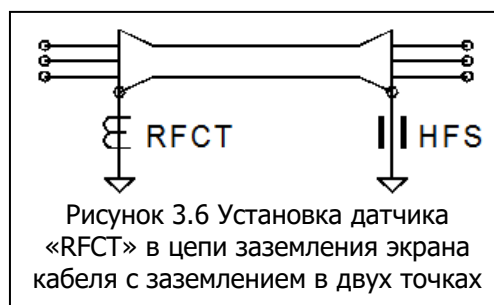
При наличии в линии двух цепей заземления частичные разряды будут замыкаться на обоих концах линии. Опасно то, что частичные разряды, возникшие в изоляции рядом с противоположным концом кабельной линии, в основном будут замыкаться по «второй» цепи заземления и измерены устройством CDM не будут. Говоря иными словами, чувствительность схемы измерения к частичным разрядам, возникающим в различных участках кабельной линии, будет существенно различаться.

Уменьшить влияние второго заземления экрана кабеля можно при помощи использования устройств подавления высокочастотных помех, называемых сопрессорами. Внешний вид такого сопрессора приведен на рисунке 3.5.



Он представляет собой разъемный ферритовый сердечник, который монтируется на провод и «защелкивается». При этом провод оказывается охваченным кольцевым ферромагнитным сердечником HFS с достаточно большим объемом. Чем больше масса сердечника, тем эффективнее будет экранирование. Такие системы подавления высокочастотных помех достаточно часто используются и в бытовой электронной аппаратуре, где они монтируются непосредственно на кабеле питания.

Кольцевой сердечник выполняет функцию фильтра высокочастотных импульсных сигналов, для которых такая конструкция имеет высокое сопротивление. Токи промышленной частоты легко протекают через сопрессор, а для высокочастотных сигналов он имеет высокое проходное сопротивление. Чем выше частота импульса, тем эффективнее работает сопрессор.



Результатом использования сопрессора будет являться то, что, несмотря на наличие двух заземлений экрана кабельной линии, все высокочастотные сигналы будут замыкаться на землю через наше первичное устройство контроля частичных разрядов, установленное с одной стороны кабеля. Все импульсы частичных разрядов будут зарегистрированы нашим устройством мониторинга CDM.

4. Монтаж и градуировка устройств CDM на объектах

Проведение подготовительных к эксплуатации работ производится в следующей последовательности:

- Монтаж и подключение устройства мониторинга CDM согласно Инструкции по монтажу и п.4.1.;
- Установка на переносной или стационарный компьютер программы «Inva (portable)» или «INVA Monitor»;
- Настройка связи согласно Руководству пользователя ПО между компьютером и устройством мониторинга CDM;
- Настройка устройства мониторинга CDM согласно п.5.2 и схеме РУ;
- Градуировка измерительных цепей согласно п.4.2 и Инструкции пользователя генератора калибровочных импульсов.

После выполнения этих работ устройство CDM лучше отключить (или остановить мониторинг) до ввода всех контролируемых кабельных линий под рабочее напряжение, т.к. CDM не имеет каналов контроля наличия напряжения в кабеле, и измерения, произведенные на отключенной линии, могут привести к расчет скорости изменения параметров ЧР к некорректным результатам. Допустимо также частичное отключение мониторинга при помощи отключения части каналов в настройках устройства CDM.

4.1 Монтаж устройства CDM на объекте

Идеология использования устройства CDM предполагает его монтаж в узле системы снабжения электрической энергией. К данному узлу или от него подходит несколько высоковольтных кабельных линий с общим уровнем рабочего напряжения. Такими узлами системы электроснабжения предприятий обычно являются КРУ, различные кабельные сборки, подстанции и т. д.

Количество контролируемых одним устройством CDM кабельных линий зависит от модификации. На каждом контролируемом кабеле монтируется высокочастотный трансформатор тока марки «RFCT». В случаях, когда кабель не имеет заземления экрана или подключение к ней невозможно, необходимо использовать конденсаторы связи марки «СС-Х/Н» для подключения непосредственно к токоведущей жиле кабеля.

При помощи первичных устройств контроля контролируется изоляция отходящей кабельной линии, включая все электрические устройства и аппараты, подключенные к линии. Под такими устройствами и аппаратами понимаются соединительные муфты, высоковольтные выключатели и статоры электрических машин, непосредственно без трансформаторов и реакторов подключенные к кабельной линии. Эффективная длина контролируемого участка схемы электроснабжения зависит от степени затухания частичных разрядов в силовом кабеле, но обычно не превышает 2000 метров при использовании высокочастотных трансформаторов тока марки RFCT. При длинах более 2000м необходимо устанавливать устройства CDM и трансформаторы тока с обеих сторон КЛ. При использовании конденсаторов связи марки СС-Х/Н длина эффективно контролируемого участка увеличивается до 6км.

Для эффективной работы устройства CDM все соединительные коаксиальные линии от первичных устройств контроля до CDM должны иметь одинаковую длину. Допустимое различие в длине сигнальных кабелей не должно превышать $\pm 0,2$ метра. Превышение этого значения может привести к погрешности в работе системы дифференциальной диагностики, когда производится выявление кабеля, в котором возник дефект в изоляции. Т.к. полезный сигнал затухает и в самом соединительном коаксиальном кабеле, то рекомендуемая длина коаксиальных кабелей - до 30 метров, допустимая - до 100 метров (допускается при контроле коротких высоковольтных КЛ).

Монтаж устройства CDM производится в месте, куда удобно подвести все коаксиальные кабели от первичных устройств контроля с минимальной длиной. В это же место необходимо проложить кабель питающего напряжения. При включении устройства CDM в информационную сеть отсюда должен быть проложен кабель внешнего интерфейса, при помощи которого CDM

будет подключен к персональному компьютеру. Длина линии связи может достигать 1000 метров при использовании гальванически изолированного интерфейса связи RS-485.

4.2 Градуировка измерительных цепей устройства CDM

Градуировка (калибровка) измерительных цепей устройства CDM нужна для того, чтобы определить реальную чувствительность измерительной схемы с учетом затухания высокочастотных импульсов в самой кабельной линии и в измерительных коаксиальных кабелях от устройства контроля до CDM. Это можно сделать только на реальном объекте после полного монтажа устройства мониторинга CDM. Градуировка также необходима для того, чтобы уточнить работу алгоритмов фильтрации импульсов и отстройки от помех.

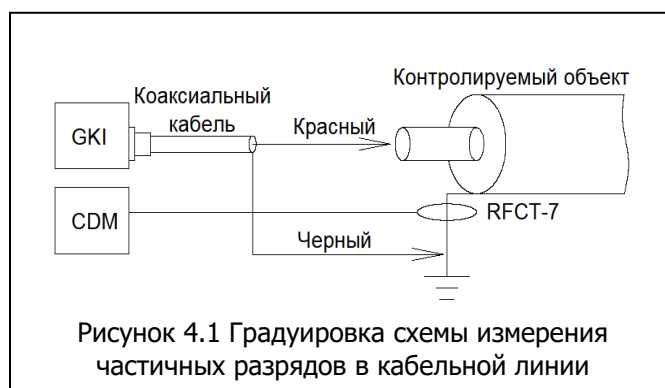
Градуировка схемы измерения частичных разрядов производится специальным генератором, подключаемым к «заземленной» кабельной линии, отключенной от напряжения питания. После подключения градуировочного генератора на время проведения градуировки защитное заземление с кабельной линии должно быть снято.

Для градуировки необходимо полностью смонтированное устройство, устройства контроля и калибровочный генератор, выдающий заряд с фиксированными параметрами. Наиболее подходящие генераторы – калибраторы «марки» GKI производства ООО «Димрус». Также для градуировки могут использоваться аналогичные калибраторы других марок и производителей.

Наиболее важными параметрами генератора, имеющими значение для градуировки устройства CDM, являются:

- Инжектируемый заряд – до 100 нКл.
- Частота следования импульсов – $300 \div 3000$ Гц.

Наиболее простым способом является «прямое» инжектирование градуировочных импульсов в жилы контролируемого кабеля. Схема такой градуировки приведена на рисунке 4.1.



Импульсы с генератора подаются в одну фазу контролируемой кабельной линии. На основании анализа выходного напряжения высокочастотного трансформатора тока марки RFCT, измеренного в мВ, рассчитывается чувствительность измерительной схемы в нКл/В. После успешной градуировки Коэффициент чувствительности канала изменится автоматически.

Запуск процедуры градуировки производится с компьютера по интерфейсам связи в режиме измерений в реальном времени (п.5.3). При этом уточняются характеристики генератора калибровочных импульсов.

При помощи программного обеспечения можно провести измерение в реальном времени и сохранить опорную рефлектограмму. При этом необходимо проверить коэффициент укорочения и при необходимости его откорректировать. Проверить измененные значения можно после запуска функции «Импорт конфигурации» (п.5.2).

Наличие отражения от дальнего конца линии на рефлектограмме, полученной при градуировке, говорит о чувствительности устройства CDM к импульсам данного заряда по всей протяженности кабельной линии.

При отсутствии отражения можно предпринять следующие шаги:

- Отключить от объекта и заземлить исследуемую кабельную линию с дальней стороны на время проведения тестирования;
- Установить сопрессор «HFS» или фильтр «PD-Filter» на заземление экрана (брони) с дальней стороны КЛ;
- Произвести градуировку, подавая импульсы генератора в кабельную линию с дальней от CDM стороны. При этом токоведущие жилы кабельной линии со стороны устройства контроля должны быть заземлены.

Такая двойная градуировка чувствительности измерительной схемы имеет практический смысл. Во-первых, становится видно, что вне зависимости от места возникновения дефекта мы регистрируем частичные разряды при помощи устройства CDM, установленного с одной стороны кабельной линии. Во-вторых, можно определить амплитудный коэффициент затухания импульсов в кабеле. Это позволит более правильно определить пороговые значения амплитуд частичных разрядов. Усредненное значение чувствительности в этом случае должно быть рассчитано пользователем.

5. Настройка программного обеспечения устройства мониторинга CDM

5.1 Общие сведения о программном обеспечении

Устройство CDM может передавать данные для анализа в программное обеспечение мониторинга «INVA Monitor» или «Inva (portable)». Каждый из этих программных комплексов содержит функции для конфигурирования CDM. Настройка устройства CDM во всех программных комплексах выполняется при помощи похожих окон настройки.

Программное обеспечение устройства и автоматизированной диагностики «INVA Monitor» поставляется и настраивается индивидуально под каждый проект. ПО «INVA Monitor» может быть поставлено как под операционную систему Windows, так и под ОС Linux.

Программное обеспечение «Inva (portable)» служит для периодического подключения и настройки CDM и состоит из двух отдельных компонентов:

- Непосредственно ПО «Inva (portable)» - приложение, занимающееся загрузкой, хранением, отображением и анализом данных устройства CDM.
- USB-драйвер CDM.

Требования к компьютеру для установки «Inva (portable)»:

Для комфортной работы с ПО «Inva (portable)» необходим компьютер (или ноутбук), обладающий следующими характеристиками:

- Процессор Intel Core i3 и выше;
- Оперативная память 4Гб и более;
- Разрешение экрана не менее 1280x720;
- ОС MS Windows 7 или более поздняя версия.

Установка программного обеспечения.

Запустите файл InvaPortable.msi из комплекта ПО с диска или скачанную с сайта <https://dimrus.ru> и следуйте подсказкам программы-установщика. Для корректной работы приложения INVA Portable требуется Microsoft .Net Framework версии 4.8.

Для установки USB-драйвера CDM запустите с правами администратора файл InstallDriver.exe из комплекта ПО и следуйте подсказкам программы – установщика.

Программное обеспечение и драйвер протестировано на ОС MS Windows 7, 8, 10, 11.

Запуск программы.

Запуск осуществляется из меню «Пуск\Программы\Dimrus\ iNVA (Portable)».

Также, запуск программного обеспечения осуществляется двойным щелчком левой кнопки мыши на ярлыке программы «Inva (portable)» на рабочем столе, в соответствии с рисунком 5.1

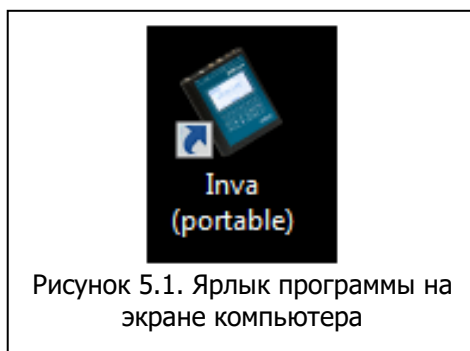
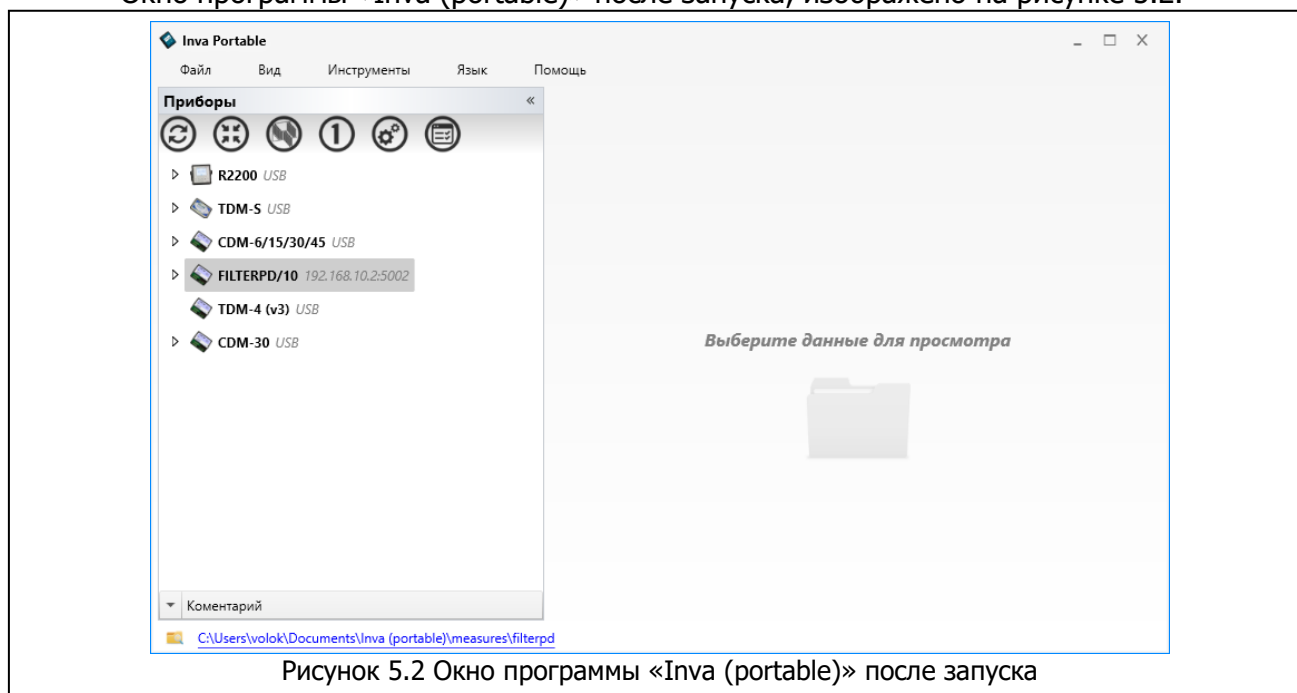


Рисунок 5.1. Ярлык программы на экране компьютера

Окно программы «Inva (portable)» после запуска, изображено на рисунке 5.2.



5.2 Описание основных функций программы

Окно программы состоит из четырех областей:

- Строка меню (верхняя часть);
- Строка статуса (нижняя часть);
- Окно структуры БД (левая часть);
- Окно просмотра и анализа данных.

Строка меню содержит следующие пункты:

- «Файл» - содержит команду выхода из программы, создания и загрузки архивов данных;
- «Вид» - параметры внешнего вида программы;
- «Инструменты» - меню настроек программы, в котором можно выбрать папки хранения данных и редактировать список доступных устройства CDM;
- «Язык» - выбор языка интерфейса программы;
- «Помощь» - информация о компании-изготовителе программы и обновление программы.

Основная часть работы с программой производится при помощи выбора различных элементов в окне структуры БД и проведения над ним операций при помощи выбора команды из всплывающего меню, появляющегося при нажатии правой кнопки мыши.

Структура БД – древовидная и может содержать элементы различных типов:

- Элемент CDM-15, CDM-30, CDM-45 - корень дерева для первой версии устройств каждого исполнения CDM-15, CDM-30, CDM-45;
- Элемент CDM-6/15/30/45 - корень дерева для новой версии устройства CDM.
- Папка - элемент, хранящий измерения, используется для упорядочения данных;
- Измерение – содержат результирующие данные проведенного измерения;
- Файл настроек – содержит настройки проведения измерений.

Над элементами разных типов доступны различные операции. Каждому элементу можно дописать текстовый комментарий. Для этого нужно развернуть поле ввода комментария внизу списка устройств:

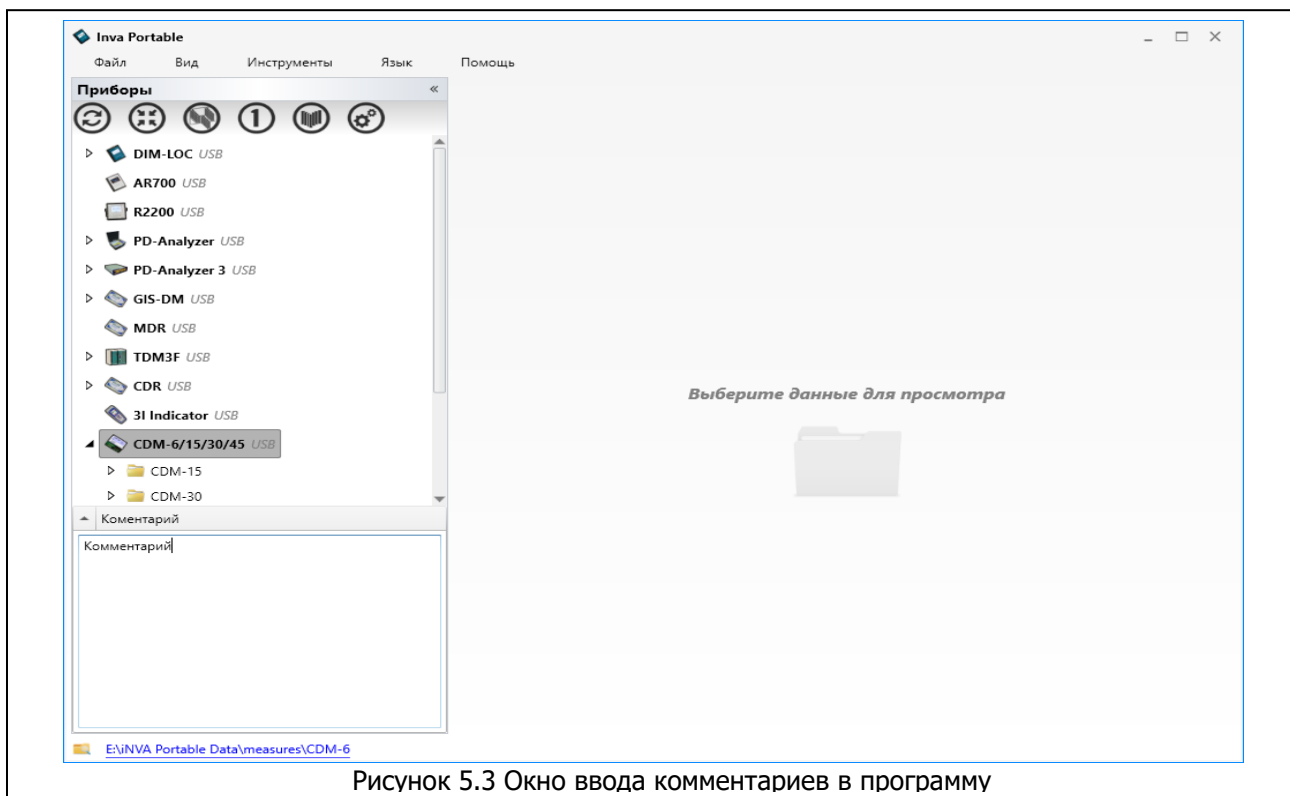


Рисунок 5.3 Окно ввода комментариев в программу

Введенный комментарий будет отображаться в этом окне при повторном выборе этого элемента или во всплывающей подсказке при наведении указателя «мыши» на этот элемент. Элементы, имеющие комментарий, обозначаются символом «i» в списке.

Меню работы с устройством CDM-6/15/30/45.

Меню элемента CDM-6/15/30/45 вызывается нажатием правой кнопки «мыши» на данной папке и разбито на отдельные функциональные группы, содержащие следующие основные элементы:

«Измерение в реальном времени» - эта команда осуществляет запуск измерения по текущим настройкам устройства "CDM" в режиме реального времени, просмотр и анализ результатов измерений;

«Запуск одиночного измерения» - эта команда осуществляет сохранение данных измерений устройства "CDM" по текущим настройкам устройства и передачу его на компьютер для дальнейшего просмотра и анализа;

«Серия измерений» - эта команда осуществляет запуск и сохранение серии измерений одного за другим.

«Настройки прибора» - команда позволяет загрузить из устройства "CDM" в компьютер настройки устройства, используемые в текущий момент для последующего просмотра или редактирования;

«Загрузить все новые данные» - команда позволяет загрузить из устройства "CDM" в компьютер новые данные, которых еще нет в папке с прибором;

«Загрузить данные по выбору» - команда позволяет загрузить из устройства "CDM" список всех данных и выбрать нужные для дальнейшей загрузки;

«Диагностика» - запуск автоматической диагностики с созданием отчетной формы;

«Настройка времени прибора» - данная функция позволяет настроить дату и время в приборе;

«Параметры связи» - команда позволяет настроить подключение к устройству "CDM";

«Выгрузить журнал событий» - загрузка и просмотр журнала событий (включение устройства, превышение пороговых значений и т.п.);

«Очистить память прибора» - удаляет все данные измерений, сохраненные в памяти устройства "CDM";

«Консоль» - дополнительный интерфейс настройки устройства "CDM" при проведении пусконаладочных работ;

«Импорт/Экспорт» - выгрузка и загрузка данных им программы «iNVA» и создание резервных копий;

«Редактирование» - редактирование параметров папки;

«Добавить папку» - данная команда добавляет папку для хранения данных.

Описание меню «папки».

Папка – это важный элемент программы. Папка может являться как просто элементом организации данных (например, при разбивке данных по месяцам), так и целым объектом.

Названия каналов, длины контролируемых кабельных линий, параметры отчета сохраняются в папке и используются также во всех вложенных папках (до следующей папки, в которой они переопределены).

Составление диагностического отчета производится по всем измерениям, лежащим не только в выбранной папке, но и в подпапках.

Меню папки содержит все команды из меню элемента CDM и дополнено следующими командами:

«Импортировать настройки прибора» - команда позволяет загрузить из устройства "CDM" в компьютер настройки устройства, используемые в текущий момент, и сохранение параметров кабельных линий (длина КЛ, коэффициент укорочения и т.д.) для последующего просмотра и проведения локации в программе;

«Связать папку» – создает именованную связь между одной папкой с данными и другой, даже находящейся в данных другого устройства серии CDM. Связи введены для более удобного переключения в программе между данными приборов, установленных в одном большом распределительном устройстве.

После выбора данной команды необходимо выбрать вторую папку и снова запустить команду «Связать папку». После этого необходимо будет ввести имя «связи». Имя связи будет отображаться под именем папки.

«Удалить связь» – удаляет папку из связи с другой папкой.

«Атрибуты папки» - позволяет настроить внешний вид (иконку) папки и ввести собственные наименования каналов, отличные от номеров каналов устройства (например, ввести наименования ячеек).

«Диагностика» - при помощи этого пункта меню можно исправить колонтитулы отчета и запустить процедуру формирования диагностического отчета по всем или выбранным измерениям папки.

Команда «Сохранить настройки прибора» - сохраняет настройки, хранящиеся в данный момент в устройстве "CDM" в выбранную папку. Сохранение не производится, если отсутствует связь или настройки полностью совпадают с последними, уже хранящимися в этой папке;

«Редактировать» - содержит подменю с командами, отвечающими за внешний вид данных в папке:

Можно *Переименовать* папку;

Все данные из вложенных папок можно *Объединить*, а затем *Разбить по дням, неделям или месяцам*;

Добавить вложение – документ pdf или jpg-изображение, которое будет отображаться при выборе этой папки. Это может быть фотография объекта, однолинейная схема или любая информация об объекте контроля.

«Выделить цветом» - выделяет цветом указанное измерение. Все папки более верхнего уровня также выделяются. Данная процедура удобна для быстрого поиска характерных (наиболее полезных, информативных) замеров и дальнейшего анализа.

Остальные пункты меню позволяют выполнять стандартные файловые операции, такие как *Вырезать/Вставить* и т.д.

Описание меню «измерения» (HF, UHF, Rec).

Меню измерения содержит следующие команды:

«Локация ЧР» - функция для проведения локации источника ЧР по времени прибытия;

«Диагностика» - составляет диагностический отчет по выбранному измерению;

«Выделить цветом» - выделяет цветом указанный файл измерения.

«Открыть» - выбирает измерение для просмотра (например, запись измерения в реальном времени);

«Удалить» - удаляет данные с диска компьютера.

Файлы данных измерений и настроек можно «перетаскивать» при помощи мыши в другие папки.

Описание меню «Настройки» (Настр).

Меню содержит следующие команды:

«Импортировать настройки прибора (для конфигурирования папки)» – настраивает наименования каналов устройства "CDM" в программе в соответствии с настройками устройства. В дальнейшем их можно изменить при помощи команды «Атрибуты папки».

«Выделить цветом» - выделяет цветом указанный файл настроек. Все папки верхнего уровня также выделяются.

«Открыть» - при выборе этой команды отображается окно, содержащее все настройки, хранящиеся в файле. Их можно изменить и записать в устройство "CDM";

«Удалить» - удаляет файл настроек устройства "CDM" с диска компьютера.

Все параметры устройства "CDM" можно установить с компьютера. Для этого:

1. Установите соединение между компьютером и устройством. Соединение с устройством в исполнении CDM-15/P возможно только по интерфейсу USB.

При соединении по интерфейсу RS-485 параметры связи с устройством "CDM" по умолчанию следующие:

- Адрес – 1;
- Скорость обмена – 19200 бит/сек;
- Бит данных – 8;
- Стоп-бит – 2;
- Контроль четности – None;
- Протокол обмена – MODBUS RTU.

При соединении по Ethernet параметры связи с устройством "CDM" «по умолчанию», следующие:

- IP-Адрес – 192.168.8.253;
- Маска подсети – 255.255.255.0;
- Порт – 502;
- Протокол обмена – MODBUS RTU.

2. Нажмите правую кнопку мыши на папке и выберите "Настройки прибора". Программа загрузит конфигурацию устройства "CDM" и запустит окно редактирования схемы РУ.

Описание окна редактирования схем кабельных линий.

Окно редактирования схемы РУ – это окно визуальной настройки устройства "CDM". С помощью находящихся в этом окне кнопок, создайте схему, и программа настроит устройство CDM и параметры фильтрации автоматически.

В нижней части окна расположены кнопки, обеспечивающие работу с визуальной схемой РУ.

- 1 – очистка схемы, начало редактирования схемы с «чистого листа»;
- 2 – удаление последнего добавленного элемента;
- 3 – пустое место, отступ или разрыв между двумя независимыми частями РУ;
- 4 – ячейка, не содержащая устройств контроля;
- 5 – ячейка секционного выключателя;

- 6 – ячейка с конденсаторами связи (контроль только общей изоляции РУ, без запуска алгоритмов локации);
- 7 – ячейка с трехфазным кабелем;
- 8 – ячейка с тремя однофазными кабелями;
- 9 – вводная ячейка с трехфазным кабелем;
- 10 – вводная ячейка с тремя однофазными кабелями;
- 11 – трехфазный кабель, подключенный параллельно в предыдущую ячейку;
- 12 – три однофазных кабеля, подключенные параллельно в предыдущую ячейку.

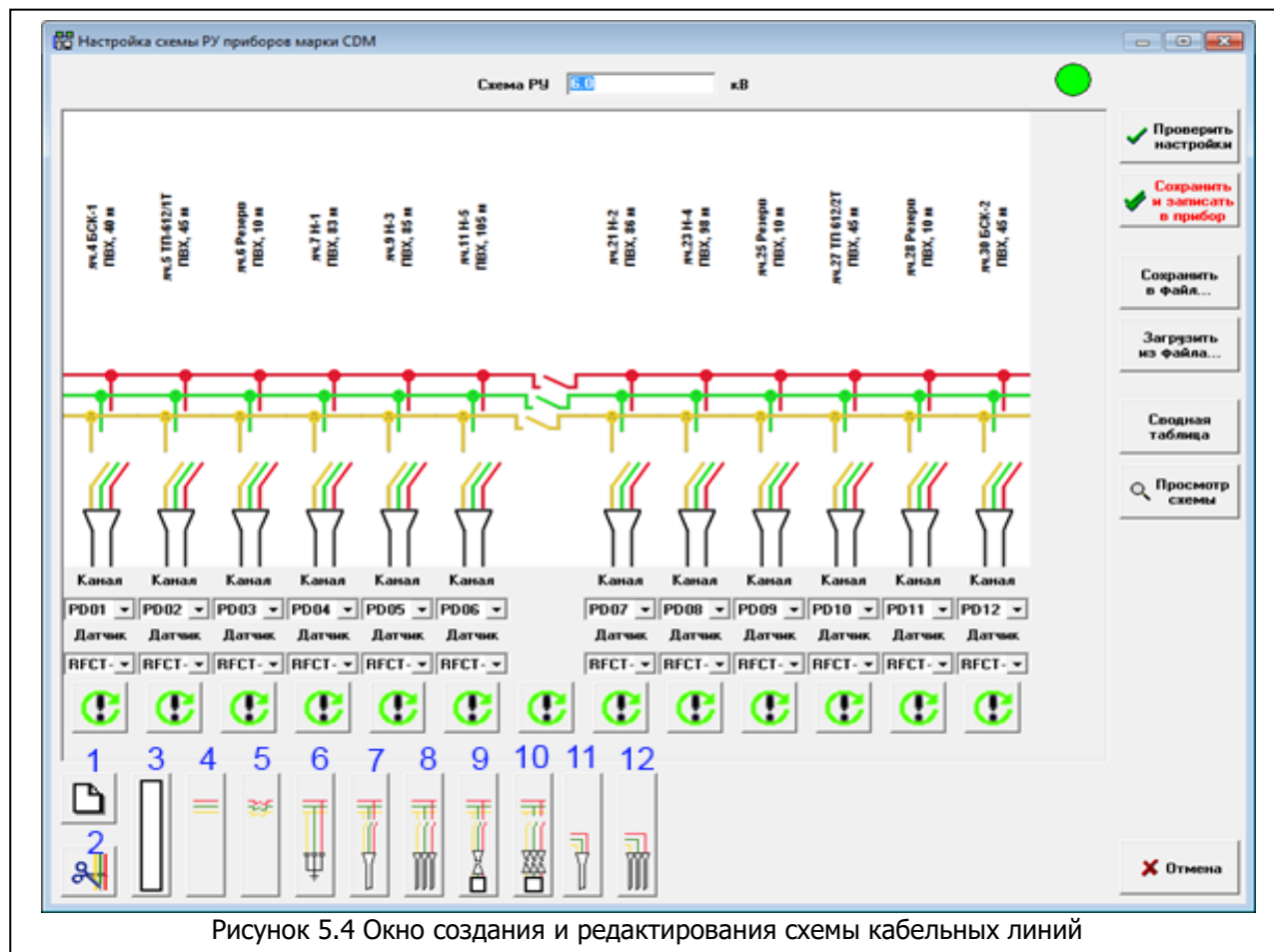


Рисунок 5.4 Окно создания и редактирования схемы кабельных линий

Желтый индикатор в правом верхнем углу показывает, что схема изменена и настройки устройства "CDM" будут пересчитаны. При неизменных настройках индикатор светится зеленым цветом.

При нажатии на кнопку со знаком восклицания появится окно уточнения параметров присоединения, показанное на рисунке 5.5.



Рисунок 5.5 Окно программы «Параметры присоединения»

Введите известные параметры и нажмите «Сохранить» для возвращения в окно редактирования схемы.

Редактируемые параметры:

- «Диспетчерское наименование» и «Марка кабеля» используются только для отображения на схеме и в программе.

- «Фаза кабеля» - для однофазного кабеля должна быть корректно задана фаза, на которую установлено первичное устройство контроля для корректной работы встроенной системы диагностики «PD-Expert».

- Длина кабельной линии – используется для процедуры рефлектометрии и локации источника разрядной активности.

- Секция датчика – номер секции системы шин. Имеет справочное значение.

- «Коэффициент укорочения» - характеристика высоковольтной кабельной линии, показывающая, во сколько раз фазовая скорость распространения волны в линии меньше, чем скорость света в вакууме.

- «L1» (расстояние между соседними присоединениями к шинам) и «L2» (расстояние от шин до кабеля) задаются справочно. Наличие этих параметров должно напомнить о том, что устройство "CDM" разделяет импульсы между кабелями по времени, а для времени должно быть расстояние. То есть, если в одну ячейку подведено несколько кабелей, устройство не сможет определить по времени прибытия, в каком конкретно кабеле дефект.

Кнопка «Сводная таблица» в общем окне настроек позволяет на одном экране (в одном окне) исправить наиболее важные для работы устройства "CDM" параметры всех ячеек РУ (Рисунок 5.6.).

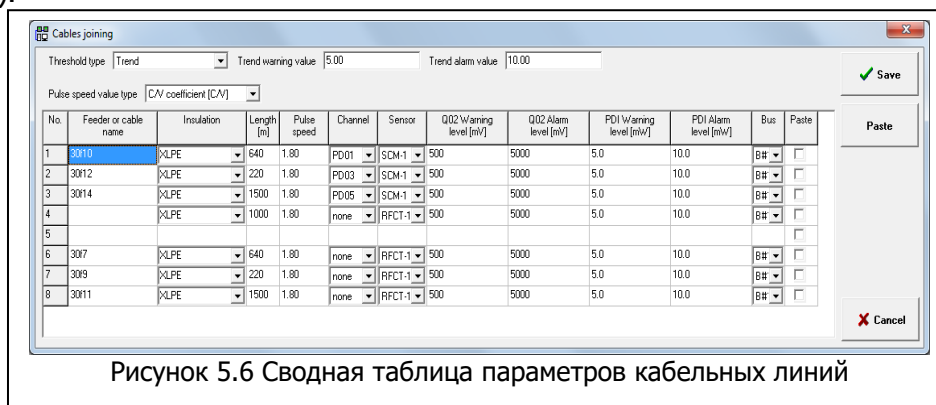


Рисунок 5.6 Сводная таблица параметров кабельных линий

После изменения схемы и настроек устройства "CDM" нажмите кнопку "Сохранить и записать в прибор". Если все данные введены корректно, то программа настроит устройство "CDM" в соответствии с введенной схемой, выдаст сообщение "Конфигурация сохранена".

Для организации архива наиболее часто используемых конфигураций можно воспользоваться кнопками «Сохранить в файл» и «Загрузить из файла».

Кнопка «Просмотр» нужна для просмотра всей созданной схемы на одном экране.

При нажатии кнопки «Проверить настройки» программа рассчитает все настройки в соответствии с созданной схемой и выдаст их на экран для проверки и корректировки пользователем. Кратко рассмотрим основные параметры.

Описание окна конфигурации прибора.

Вкладка «Параметры прибора».

На вкладке «Параметры прибора» находятся общие параметры устройства "CDM", которые сгруппированы по назначению.

Группа "RS485"

Отдельно редактируются параметры связи для 2-х возможных для использования портов RS485.

"Адрес прибора" – MODBUS адрес устройства "CDM".

"Скорость бит/сек" – скорость обмена по RS-485 интерфейсу.

"Четность" – установка проверки четности.

"Протокол обмена" – протокол в формате, которого, устройство "CDM" будет ожидать команды, и отвечать на них.

"Стоповых бит" – количество стоповых бит;

"Назначение" – определяет назначение порта «Обмен данными» с системой более высокого уровня, «Индикация» - подключение системы индикации в шкафу устройства "CDM" или «CDM-CR» - подключение 1, 2 или 3-х приборов CDM-CR. Оба порта являются универсальными и могут использоваться в соответствии с настройками.

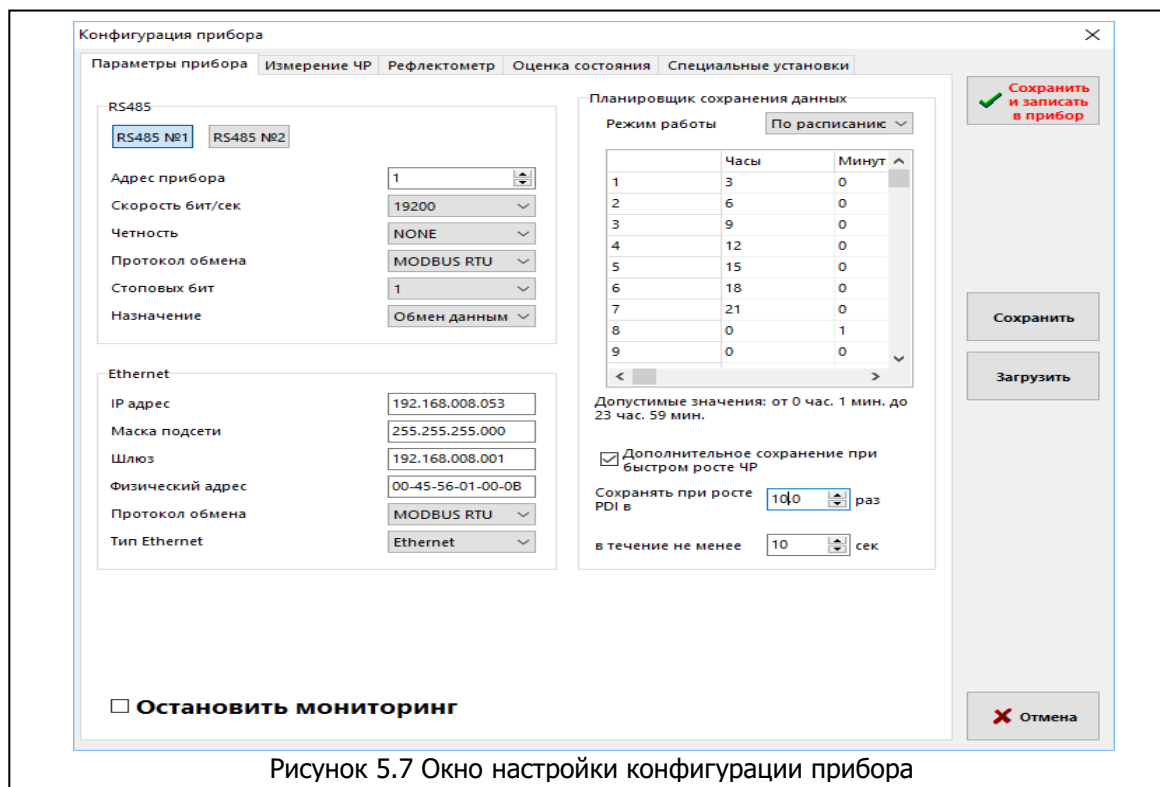


Рисунок 5.7 Окно настройки конфигурации прибора

Группа "Планировщик"

Устройство CDM может сохранять измерения по расписанию или через заданный интервал времени. Расписание состоит из 50 пунктов, значение 0-0 воспринимается устройством "CDM" как отсутствие измерения по этой строке планировщика.

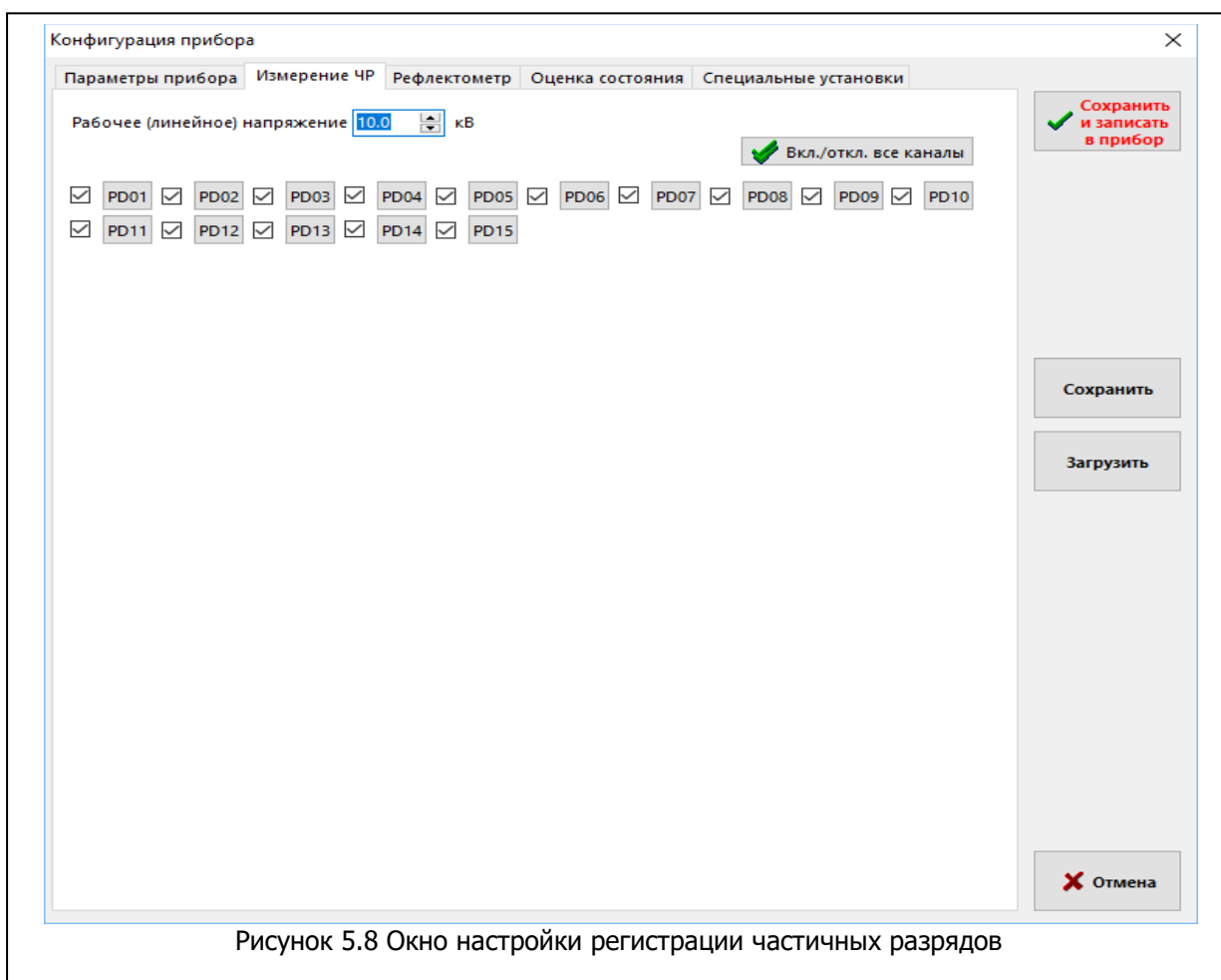
Включенный переключатель «Дополнительное сохранение при быстром росте ЧР» активирует алгоритм сохранения данных не только по расписанию, но и в зависимости от настроек роста мощности и длительности периода контроля. При резком изменении уровней мощности в течение заданного времени по одному из каналов устройства "CDM" запускает рефлектометр и сохраняет измерение.

"Остановить мониторинг"

При отключении КРУ или при проведении пусконаладочных работ рекомендуем отключить постоянный мониторинг устройством "CDM". При включенном переключателе **"Остановить мониторинг"** устройство "CDM" останавливает мониторинг и не сохраняет измерения по расписанию.

 **Внимание!** Для восстановления работы по расписанию необходимо отключить переключатель «Остановить мониторинг».

Вкладка «Измерение ЧР».

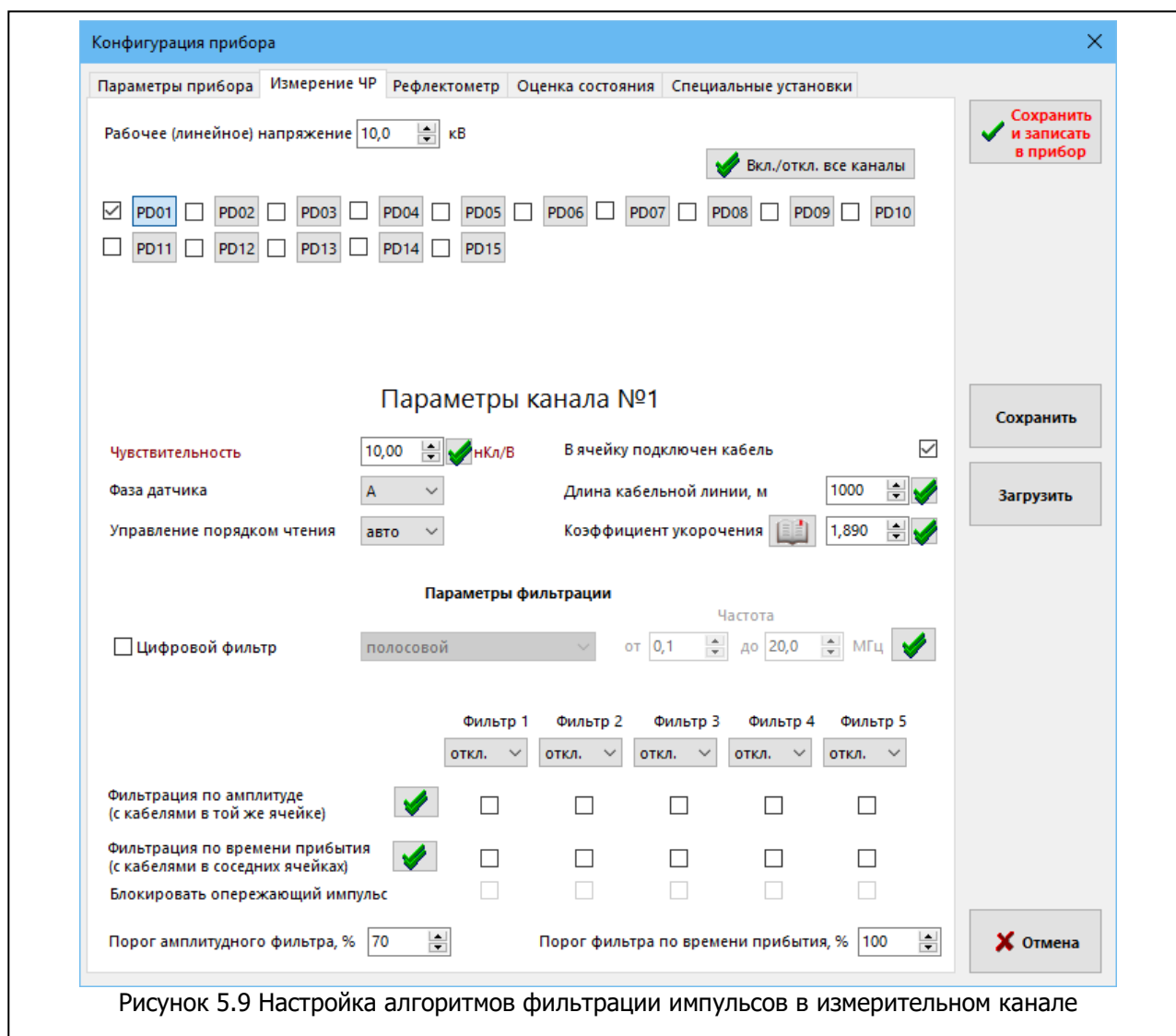


Параметр "Рабочее напряжение"

Нужно ввести рабочее (линейное) напряжение линий, в кВ. Данный параметр участвует в расчете мощности ЧР(PDI).

Ниже задаются включенные в регистрацию каналы.

При нажатии кнопки с названием канала открываются дополнительные параметры регистрации каждого канала.



«**Чувствительность**» - коэффициент перевода вольты – нанокюлоны. Типовое значение устанавливается автоматически при выборе правильного типа первичного устройства контроля в окне редактирования схемы. Уточняется при градуировке (см. раздел 4.2.).

«**Фаза датчика**» - фаза, на которой установлен датчик (устройство контроля). Установите значение «А» для первичного устройства контроля на трехфазном кабеле.

Переключатель «**В ячейку подключен кабель**» должен быть включен для всех каналов, где первичное устройство контроля установлено на кабельной линии. Если устройство контроля установлено не на кабельной линии (например, устройств типа конденсатор связи в ячейке ТН) переключатель должен быть отключен.

«**Длина кабельной линии**» и «**Коэффициент укорочения**» - характеристики кабеля, используемые в алгоритмах расчета места источника импульсов ЧР в кабельной линии.

Параметры фильтрации отвечают за определение устройством "CDM" кабеля, в котором возник каждый зарегистрированный импульс.

«**Цифровой фильтр**» – позволяет ограничить частотный диапазон регистрации. Рекомендуем обдуманно включать этот алгоритм фильтрации в случае, если присутствует постоянный внешний шумовой сигнал, не отфильтрованный другими алгоритмами, или для временного анализа импульсов в узком частотном диапазоне.

Рекомендуемые настройки этого фильтра в зависимости от длины КЛ:

- Для контроля концевой муфты - фильтр верхних частот от 3 МГц;
- Для контроля КЛ длиной 0 ÷ 250 м - фильтр верхних частот от 2.5 МГц;

- Для контроля КЛ длиной 250 ÷ 500м - фильтр верхних частот от 2 МГц;
- Для контроля КЛ длиной 500 ÷ 750м - фильтр верхних частот от 1.5 МГц;
- Для контроля КЛ длиной 750 ÷ 1000м - фильтр верхних частот от 1 МГц;
- Для контроля КЛ длиной от 1000м и длиннее – измерение во всем диапазоне частот.

Фильтрация по времени прибытия должна быть настроена с каналами в соседних ячейках (с той же фазой, если кабель однофазный).

Фильтрация по амплитуде должна быть настроена с кабелями других фаз в той же ячейке (для однофазного кабеля).

Фильтрация автоматически настраивается при использовании графической схемы настройки.

Вкладка «Рефлектометр»

На вкладке «Рефлектометр» настраиваются режимы запуска модуля рефлектометрии.

Включение пункта «Усредненная рефлектограмма» позволяет запускать алгоритм усреднения. Это приводит к некоторым временным затратам при сохранении импульсов, но при этом позволяет экономить внутреннюю память прибора.

«Количество периодов для усреднения» задает длительность регистрации рефлектограмм.

Запуск «При быстром росте мощности ЧР», «По внешнему импульсу большой амплитуды» и «По результатам работы системы диагностики» — это автоматические режимы запуска рефлектометра.

Алгоритм «При быстром росте мощности ЧР» - запускает модуль рефлектометра при резком росте амплитуды ЧР (амплитуда должна вырасти не менее чем до указанного значения).

Алгоритм «По внешнему импульсу большой амплитуды» - запускает модуль рефлектометра, при этом триггер рефлектометра устанавливается выше уровня амплитуды в канале. Происходит попытка «просканировать» кабельную линию, используя внешние по отношению к этой КЛ импульсы (отфильтрованные импульсы из других линий).

Алгоритм «По результатам работы системы диагностики» запускает рефлектометр в случае определения дефекта встроенной системой «PD-Expert». Это рекомендуемый режим работы рефлектометра по умолчанию.

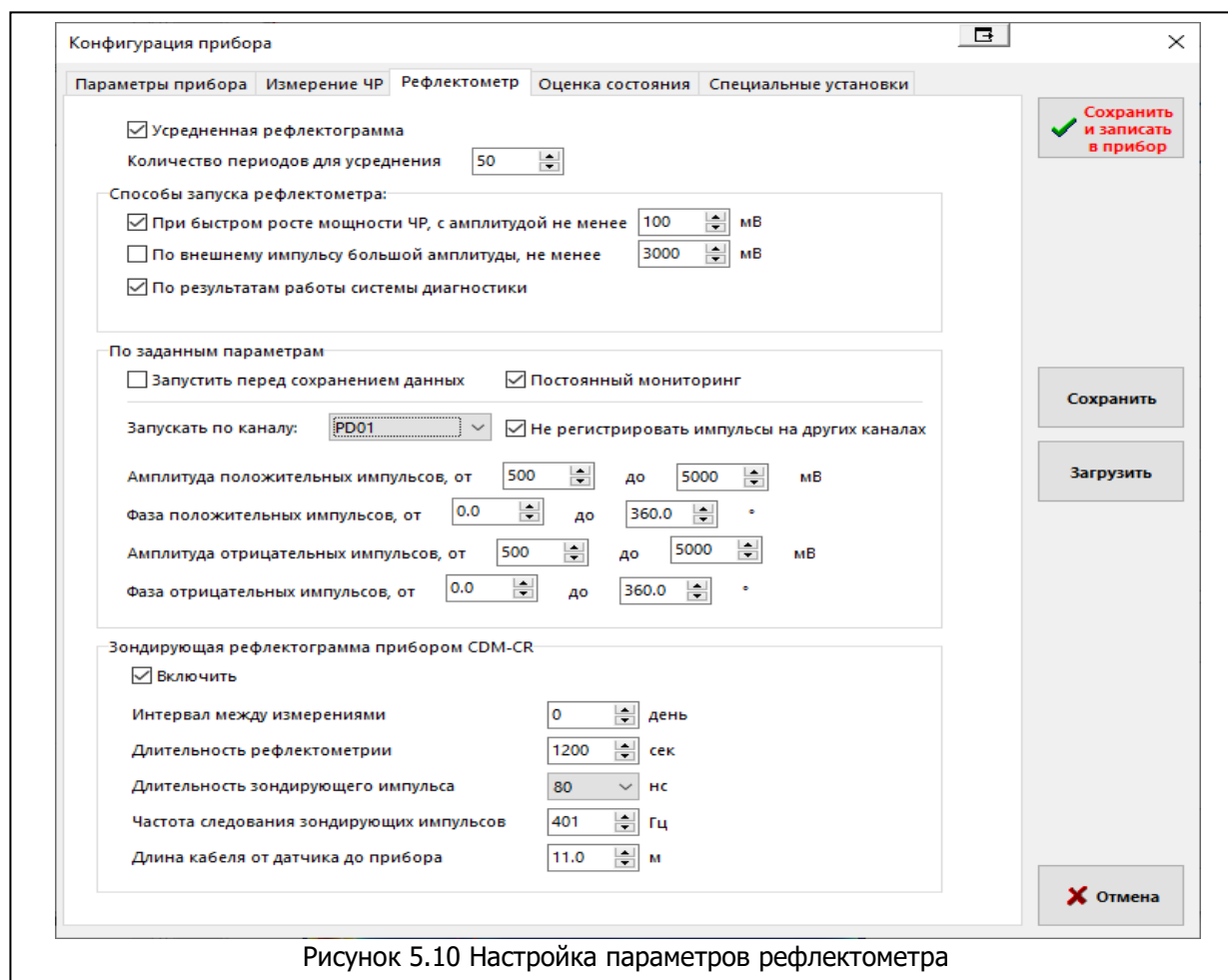
Также на этой вкладке можно задать ручной режим запуска. Для этого сначала нужно выбрать тип запуска. «Запустить перед сохранением данных» - рефлектометр запустится перед сохранением данных по расписанию. «Постоянный мониторинг» - рефлектометр будет постоянно включен. Далее необходимо выбрать канал, по которому будет обязательно сохраняться рефлектограмма, амплитудное и фазовое окна для положительных и отрицательных импульсов.

При наличии в комплекте приборов «CDM-CR» необходимо включить зондирующую рефлектограмму прибором «CDM-CR».

Прибор «CDM-CR» позволяет расширить диагностические возможности устройства CDM и дополнительно выполняет 2 основные функции:

- измерение токов промышленной частоты экранов кабельной линии при подключении специализированных блоков и датчиков тока;

- «зондирование» кабельной линии импульсным сигналом, генерируемым модулем «CDM-CR», с целью обнаружения изменений в рефлектограмме и обнаружения дефектов типа «водяное дерево».



«Зондирование» проводится на каждом измерительном канале последовательно при сохранении данных измерений в соответствии с настройками. При сохранении данных тестируется только один канал, на который подключена кабельная линия. При следующем сохранении будет протестирован следующий канал. Это сделано с целью оптимизации времени сохранения данных. При последовательном тестировании всех каналов следующий блок «зондирования» всех каналов запустится через заданное количество дней в параметре «Интервал между измерениями».

Все усредненные и сохраненные рефлектограммы анализируются в ПО «INVA Monitor» и «Inva (portable)» на наличие «критических» изменений с целью обнаружения и выявления попадания влаги в изоляцию или появления дефекта типа «водяное дерево» в кабеле с твердой изоляцией.

Параметры «зондирования»:

- «Интервал между измерениями» - интервал проведения сканирования последовательности каналов, дней. 0 – соответствует непрерывному последовательному сканированию всех каналов.

- «Длительность рефлектометрии» - время проведения измерения и усреднения для каждого канала, сек.

- «Длительность зондирующего импульса» - ширина генерируемого импульса, нс. Ширина может выбираться прибором автоматически, исходя из длины кабеля, или задаваться пользователем. Необходимо задавать минимальную возможную длительность для более точной локации при условии, что будет отчетливо фиксироваться отражение от конца кабельной линии.

- «Частота следования зондирующих импульсов» - частота генерации импульсов, Гц. Минимальное значение – 400Гц.

- «Длина кабеля от датчика до прибора» - длина коаксиального кабеля от устройства присоединения типа RFCT или CC до устройства CDM. Согласно требованиям данной инструкции,

все кабели должны быть одинаковой длины (п.4.1). Этот параметр важен для корректной локации места возникновения изменений.

Вкладка «Оценка состояния»

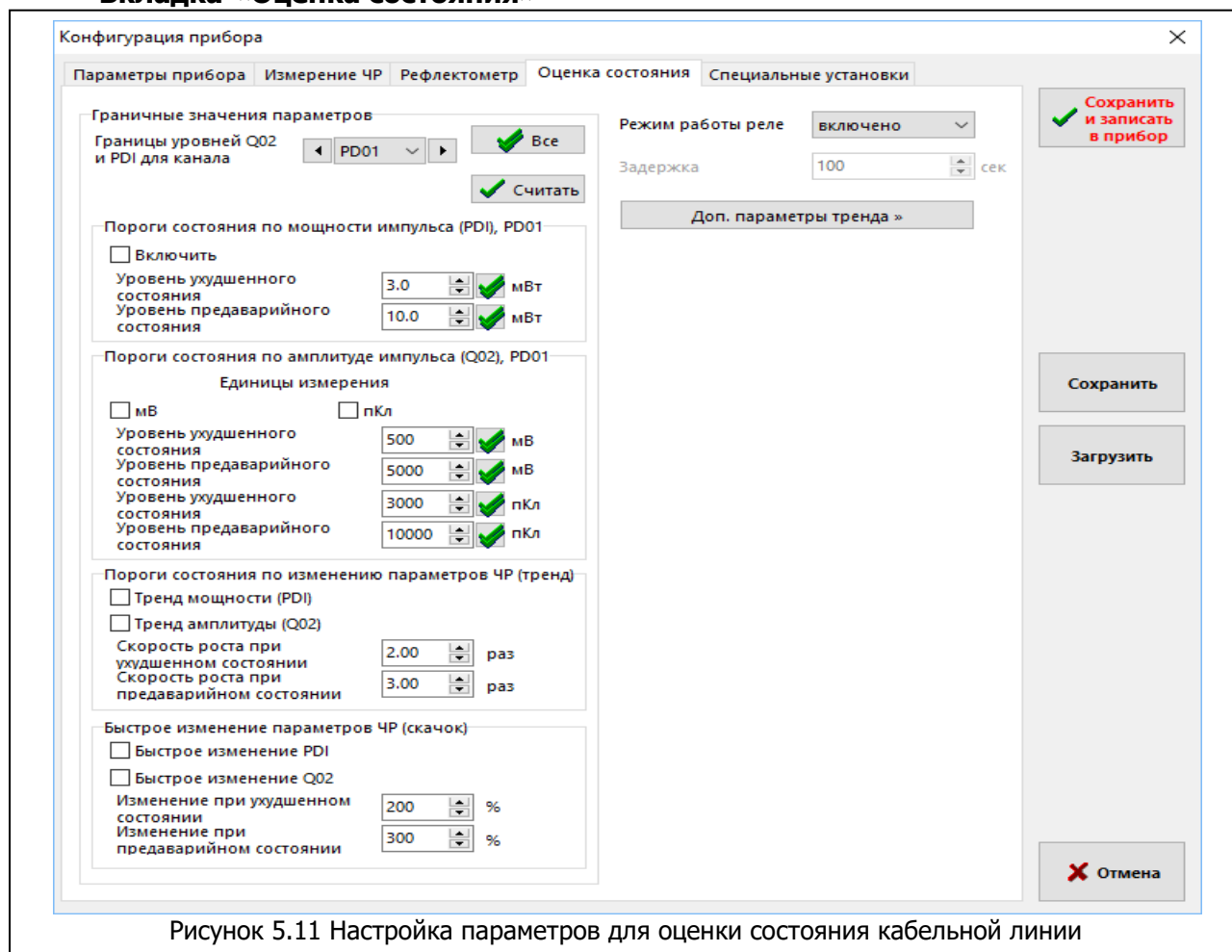


Рисунок 5.11 Настройка параметров для оценки состояния кабельной линии

Группа «Граничные значения параметров»

Необходимо выбрать, по каким параметрам оценивать состояние в устройстве "CDM" и включать сигнализацию.

Появление этих настроек обусловлено несколькими моментами:

- во-первых, нет утвержденных норм или хотя бы наработок, но они появляются;
- во-вторых, высокая амплитуда импульсов или большое их количество может оставаться стабильным в течение долгого времени. Только изменение этих величин во времени свидетельствует о том, что в изоляции происходят ухудшения;
- в-третьих, изменения уровней – это показатель скорости развития дефекта, а не степени развития дефекта.

Поэтому в настоящее время невозможно сказать, какой из параметров важнее. Мы считаем, что наиболее показательны тренды (скорость роста), особенно тренд мощности импульсов - PDI.

Группа «Граничные значения параметров»

Необходимо выбрать и указать пороговые значения контролируемых параметров и период, за который рассчитывать временной тренд. Пороговые значения на мощность (PDI) и амплитуду (Q02) импульсов устанавливаются на каждый канал, пороговые значения на быстрое изменение и длительный временной тренд устанавливаются для всех каналов.

Рекомендуемое пороговое значение мощности частичных разрядов (PDI) может быть рассчитано программой автоматически на основании введенного рабочего напряжения.

Режим работы реле: «включено» – замыкать реле по превышению порога, «отключено» – не замыкать, «на время» реле замыкается на заданное в поле **«Задержка»** количество секунд.

Вкладка «Специальные установки»

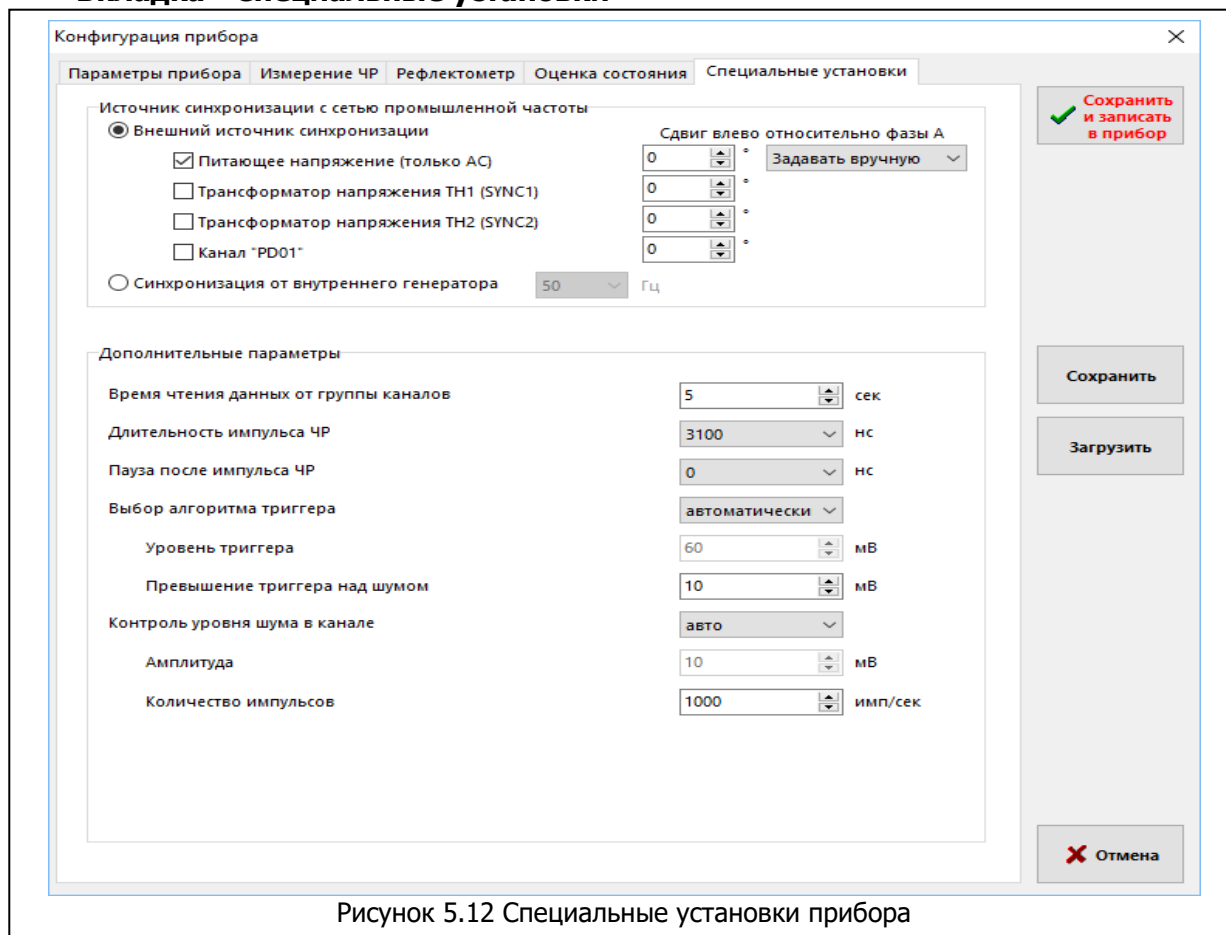


Рисунок 5.12 Специальные установки прибора

На вкладке «Специальные установки» задаются специфические настройки устройства "CDM": определение формы импульса, настройки синхронизации с частотой промышленной сети.

"Синхронизация" – выбор источника синхронизации. Синусоида промышленной частоты на устройство "CDM" может быть подана через:

- 1) вход "SYNC1" от трансформатора напряжения системы шин 1;
- 2) вход "SYNC2" от трансформатора напряжения системы шин 2;
- 3) разъем питания устройства "CDM" (только при питании от сети переменной частоты);
- 4) вход измерения частичных разрядов №1, при использовании устройства контроля – конденсатора связи «СС» на канале №1 устройства "CDM";
- 5) матрицы могут сохраняться без привязки к опорной синусоиде – «от внутреннего генератора». Для регистрации без привязки нужно ввести частоту в Гц.



Внимание! Правильная привязка к синусоиде сети очень важна для определения типа дефекта, в том числе и встроенной системой «PD-Expert» и определения фазы кабеля, на которой возникает дефект. При выборе регистрации «от внутреннего генератора» возможно определение только интегральных параметров ЧР (Q_{02} и PDI) и их развитие во времени.

Наиболее простые методы установки правильной связи с промышленной частотой:

- подключить на вход «SYNC» устройства "CDM" выход с ТН, выбрать в качестве источника синхронизации «внешний источник» и установить параметр «Опережение фазы А источником синхронизации» в соответствии с фазой, на которой установлен ТН;
- подключить на вход «PD01» конденсатор связи, имеющий на выходе сигнал промышленной частоты, выбрать в качестве источника синхронизации «вход PD01» и установить параметр «Сдвиг относительно фазы А» в соответствии с фазой, на которой установлен конденсатор связи (плюс 90 градусов влево из-за сдвига, вызываемого самим конденсатором).

При питании устройства "CDM" от сети переменного напряжения одновременно с синхронизацией от входа SYNC или PD01 можно выбрать синхронизацию от питающего напряжения. Тогда при пропадании частоты от основного источника будет автоматически произведен переход на другой источник синхронизации. Сдвиг источника питания относительно основного источника синхронизации может быть рассчитан автоматически или задан самостоятельно. Расчет сдвига запускается при каждом включении устройства "CDM".

Порядок приоритета входов при расчете сдвига:

1. SYNC1;
2. SYNC2;
3. Вход PD01;
4. Сеть питания переменного напряжения.

"Дополнительные параметры" – параметры измерения устройством "CDM", которые настраиваются в процессе пусконаладочных работ в зависимости от длин кабельных линий и уровня внешних помех в месте установки.

«Время чтения данных от группы каналов». При подключении более чем 6 первичных устройств контроля и включении соответствующих каналов устройство "CDM" автоматически разбивает все каналы на группы, в которых можно эффективно проводить измерения с максимальным количеством каналов. При этом измерения в каждой группе будут проводиться в течение заданного в данном пункте количества секунд. Затем автоматически перейдет переключение на следующую группу каналов. Переключения происходят циклически по всем группам, благодаря чему достигается постоянный мониторинг с максимальной эффективностью.

«Длительность импульса ЧР» - максимальная длительность импульса, который является ЧР. Длительность может быть увеличена при проведении измерений на длинных кабельных линиях, где возможно сильное затухание и сигналы будут иметь достаточно низкую частоту.

Рекомендуемое значение для кабельных линий до 100 метров 3100нс, 6300нс для кабелей большей длины.

«Пауза после импульса ЧР» - позволяет фильтровать сигналы, которые не являются затухающими и не соответствуют понятию ЧР. В кабельных линиях из-за наличия отражений этот вид «отбраковки» ЧР может работать не корректно в связи с возможными отражениями на коротких линиях. Поэтому этот вид фильтрации по умолчанию отключен.

«Выбор алгоритма триггера» - позволяет задать тип триггера, при превышении которого будут фиксироваться импульсы ЧР. Выбор осуществляется из 2-х видов: автоматический и фиксированный по амплитуде. В большинстве случаев корректно и эффективно работает автоматический тип триггера, который устанавливается по умолчанию.

«Уровень триггера» - задает значение триггера в мВ при выборе алгоритма триггера типа «фиксированный». При этом во всех каналах будут регистрироваться только импульсы, превышающие по амплитуде данный уровень.

«Превышение триггера над шумом» - задает значение превышения триггера в мВ при выборе алгоритма триггера типа «автоматический». Если в случае выбора автоматического типа триггера устройство "CDM" регистрирует значительное количество импульсов, которое можно отнести к шумовому сигналу, следует увеличить этот параметр на величину уровня шумового сигнала. Значение по умолчанию – 2мВ.

«Контроль уровня шума в канале» - задает способ отстройки от шумовых сигналов и исключение их из анализа при расчете мощности и амплитуды ЧР. Возможно отключить контроль уровня шума, выбрать автоматический алгоритм или установить фиксированный уровень шума. При выборе фиксированного уровня шума необходимо задать этот уровень в следующем пункте «Амплитуда». В случае выбора автоматического уровня шума следует ввести количество импульсов, которое устройство "CDM" будет считать информативными в соответствующем поле. Импульсы с меньшей амплитудой и превышающие заданное количество, будут считаться «шумовыми».

5.3 Проведение измерений частичных разрядов

В обычном режиме устройство "CDM" делает измерения постоянно и, согласно установленному расписанию, сохраняет измерения. ПО или пользователю необходимо лишь загружать новые данные. При включенном переключателе «Дополнительное сохранение при росте ЧР» устройство CDM также сохраняет измерение между временем по расписанию, но сохраняет данные, только если наблюдается рост мощности ЧР.

Между выполнением пунктов расписания можно сохранить текущие данные измерения, запустив однократное измерение или серию измерений. Так же имеется режим измерений в реальном времени. Все измерения выполняются по установленным в устройстве "CDM" настройкам при помощи программного обеспечения «Inva (portable)» или «INVA Monitor».

Перед началом серии измерений создается новая папка, в нее помещается файл настроек устройства "CDM", затем запускается измерение. После окончания текущего измерения программа загружает его на компьютер и запускает следующее.

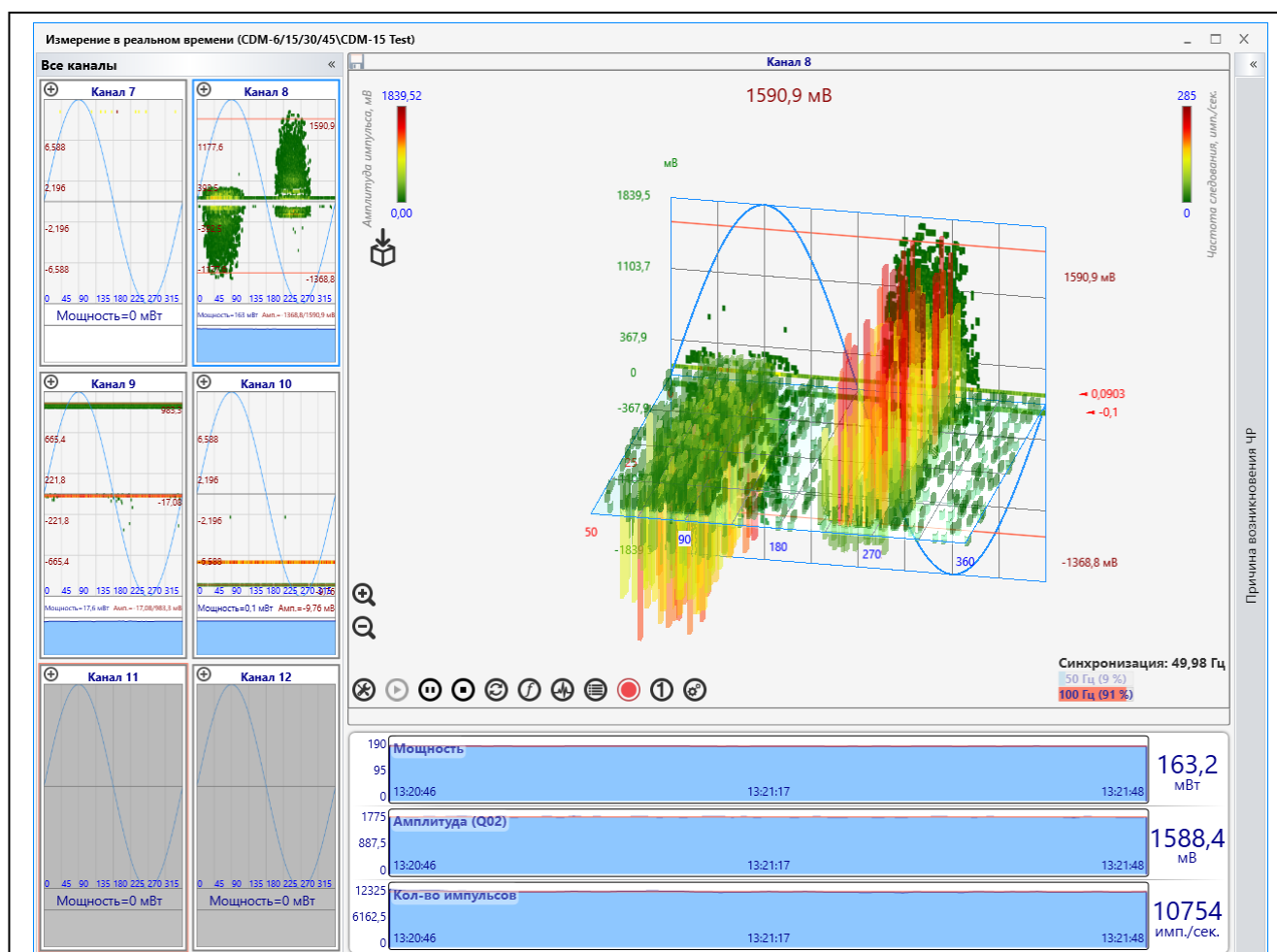


Рисунок 5.13 Окно измерений в реальном времени

Серия измерений прерывается с помощью кнопки «Прервать серию измерений».

Проведение измерений в реальном времени

При выборе команды меню «Измерение в режиме реального времени» открывается окно просмотра данных. Измерение запускается автоматически.

В этом режиме отображаются:

- до 6 амплитудно-фазовых распределений выбранной группы каналов измерений (в левой части окна);
- данные с выбранного из группы измерительного канала, измеренные в течение одной секунды в режиме 3D (в центре).
- график изменения амплитуды, мощности, количества импульсов в выбранном канале за интервал времени, установленный в настройках (в нижней части).
- типа дефекта, определенный при помощи экспертной системы «PD-Expert» (в правой части окна).

Между 3D распределением ЧР и графиками тренда находятся кнопки управления отображением и регистрацией:

- «» - открывает меню настройки параметров режима реального времени.
- «» - запускает измерение после остановки или паузы.
- «» - пауза (приостановка) измерения. При приостановке «замирает» только обновление трехмерного распределения. Измерение, накопление и запись не прерываются. После отмены приостановки (кнопкой запуска) отображение начинается с данных, актуальных в текущий момент.
- «» - остановка измерения. При повторном запуске измерения история (на PRPD плоскости и графиках тренда) будет очищена.
- «» - сброс накопленных данных амплитудно-фазовых распределений (PRPD) и графиков изменений параметров во времени и старт новых накоплений;
- «» - рефлектограмма в режиме реального времени с возможностью изменения настроек цифрового фильтра;
- «» - переключение между группами каналов, отображаемыми одновременно в режиме реального времени;
- «» - запуск записи данных. При запущенной записи превращается в кнопку остановки записи и одновременно служит индикатором записи – начинает моргать;
- «» - кнопка запуска сохранения измерений в стандартном режиме работы устройства "CDM";
- «» - кнопка приостановки измерений и вызова окна настроек устройства "CDM". После изменения настроек режим реального времени запустится снова с измененными параметрами;
- «» «» - кнопки изменения масштаба 3D отображения.

Переключение группы каналов «» производится выбором группы из автоматически сформированных, в соответствии с настройками устройства "CDM" (Рисунок 5.14.).

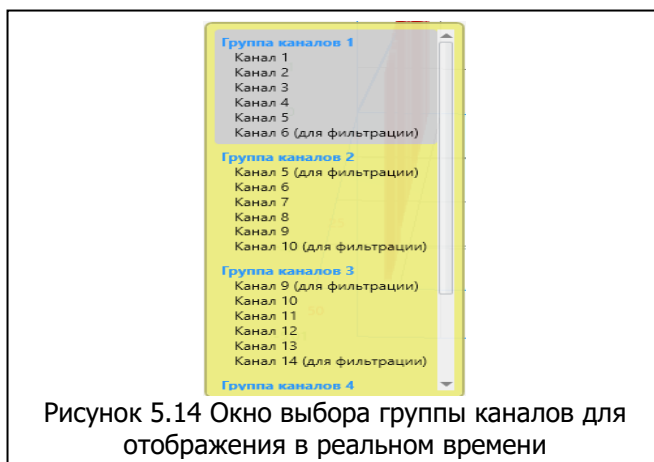


Рисунок 5.14 Окно выбора группы каналов для отображения в реальном времени

Правее кнопок управления расположена сводная текущая информация:

- частота источника синхронизации;
- энергия или мощность импульсов;
- амплитуда импульсов;
- количество импульсов;
- температура окружающей среды;
- влажность окружающей среды.

Последние два параметра отображаются только при подключенных устройствах контроля. Обновление показаний температуры и влажности производится 1 раз в минуту.

На 3D распределении по вертикальной оси отложена амплитуда импульсов, по горизонтальной – фаза промышленной частоты. Каждый импульс отображается отдельно на том периоде, на котором он был измерен во время регистрации ЧР. Все вместе они образуют амплитудно-фазовое распределение (изображено на задней плоскости).

Приближение и отдаление графика осуществляется при помощи вращения колесика мыши, сдвиг – при помощи перемещения мыши с одновременным удержанием колесика мыши в нажатом состоянии, вращение – при помощи перемещения мыши с одновременным удержанием правой кнопки мыши в нажатом состоянии.

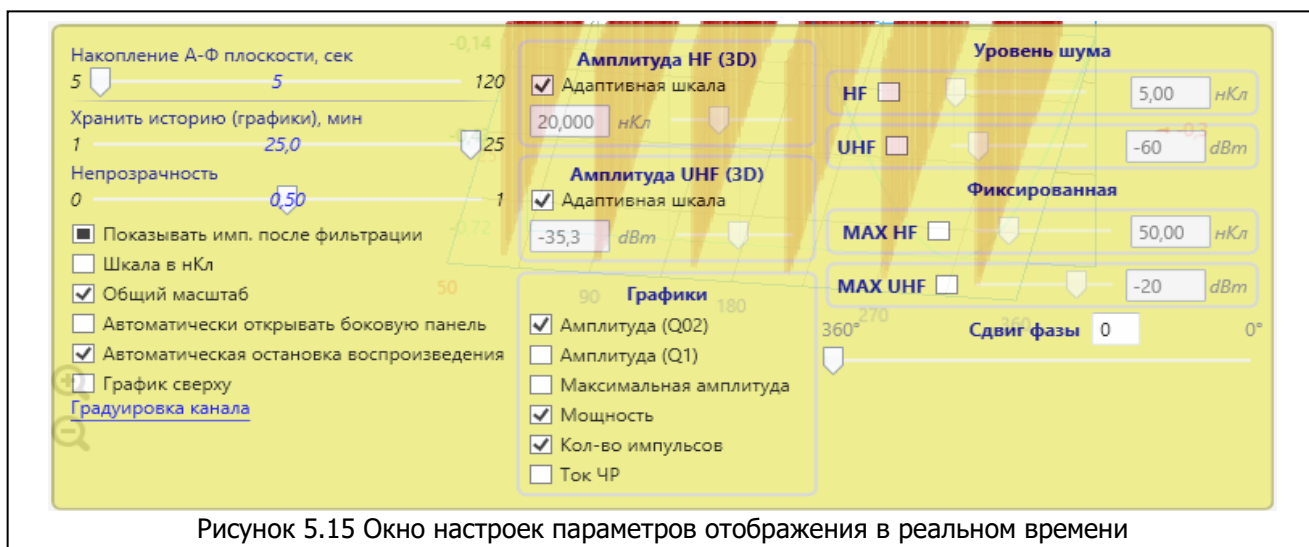


Рисунок 5.15 Окно настроек параметров отображения в реальном времени

Настройки параметров режима реального времени «».

- «Накопление А-Ф плоскости, сек» - время накопления данных амплитудно-фазового распределения каждого канала;
- «Хранить историю, сек» - период времени отображения графиков изменения параметров импульсов;
- «Непрозрачность» - уровень прозрачности импульсов на 3D распределении;

- «Показывать импульсы после фильтрации» - оперативно вкл/выкл фильтрацию в соответствии с настройками устройства "CDM";
- «Шкала в нКл» - переключает шкалу отображения нКл <-> мВ для режима ВЧ;
- «Общий масштаб» - вкл/выкл режим отображения графиков с общим или индивидуальным масштабом по амплитуде импульсов;
- «Автоматически открывать боковую панель» - при определении типа дефекта экспертной системой «PD-Expert» (окно диагностики справа открывается автоматически);
- «Автоматическая остановка воспроизведения» - при просмотре сохраненных данных в режиме реального времени останавливает воспроизведение при достижении окончания времени записи;
- «График сверху» - переключает отображение графиков изменения параметров вверх, над окном 3D;
- «Градуировка канала» - позволяет оперативно провести градуировку и рассчитать коэффициент для выбранного канала. При градуировке к данному каналу должен быть подключен градуировочный генератор. При запуске этого режима необходимо задать амплитуду сигнала градуировочного генератора в дополнительном окне;

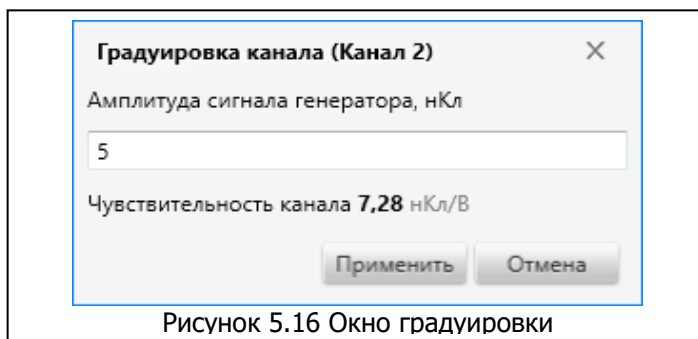


Рисунок 5.16 Окно градуировки

- «Адаптивная шкала» - переключение режима автоматического и ручного регулирования амплитудной шкалы отображения цветов импульсов;
- «Графики» - выбор отображения до трех из шести вариантов типов графиков изменения параметров для отображения;
- «Уровень шума» - позволяет в ручном режиме задать уровень шума в канале и исключить его отображение;
- «Фиксированная шкала» - позволяет зафиксировать максимальную амплитуду шкал для графиков;
- «Сдвиг фазы» - изменить начальный сдвиг фазы.



» - рефлектограмма в режиме реального времени.

Возможность в онлайн режиме под рабочим напряжением провести рефлектометрию и локацию источника разрядной активности.

Окно состоит из четырех областей:

- Настройки параметров режима измерения и усреднения (левая часть);
- Графическое отображение кабельной линии с отображением концевых и соединительных муфт (верхняя часть);
- Амплитудно-фазовое распределение импульсов в выбранном канале с возможностью выбора на графике зон регистрации рефлектограмм и сами рефлектограммы для каждой зоны (центральная часть);
- Окно подробного просмотра и анализа рефлектограммы, выбранной зоны (правая часть).

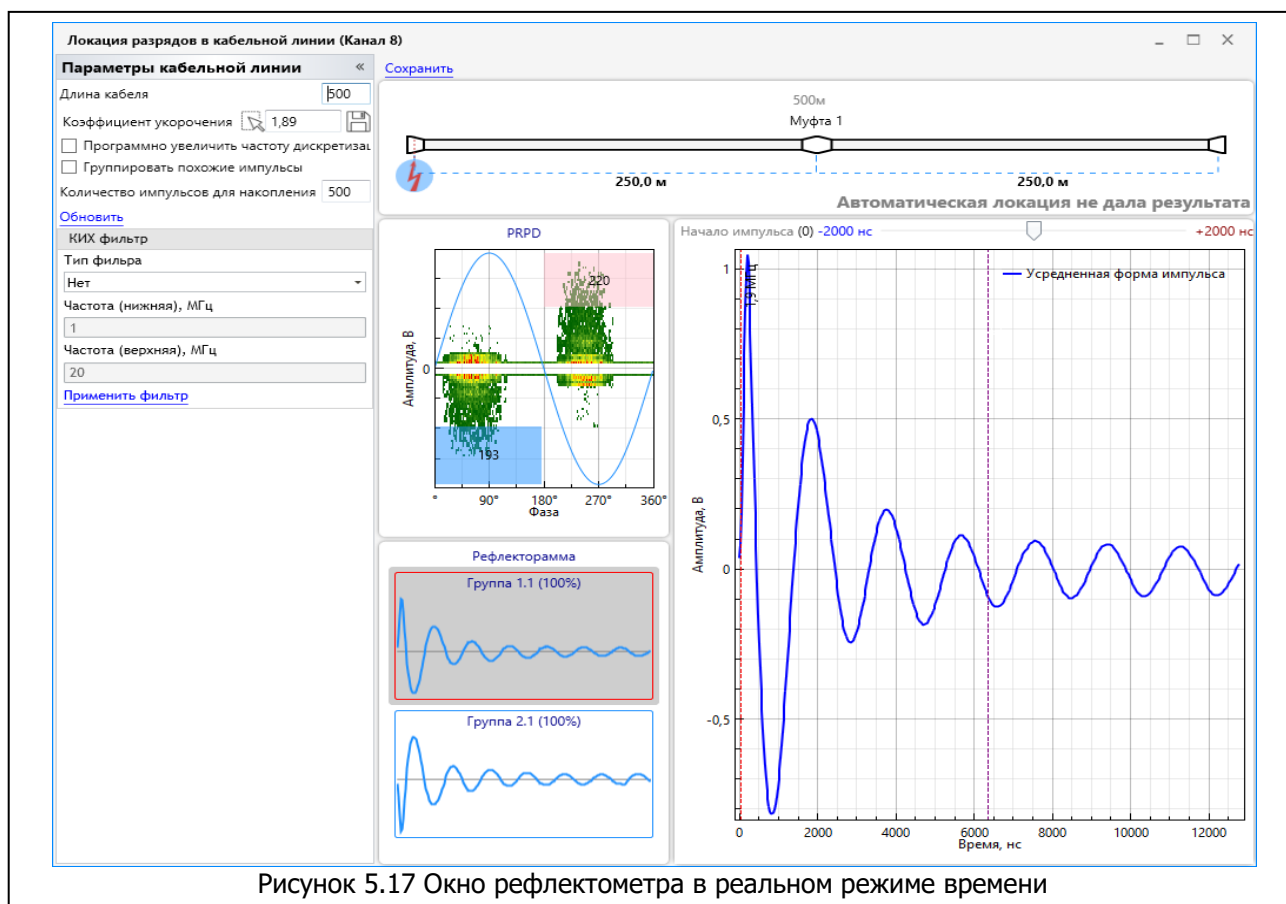


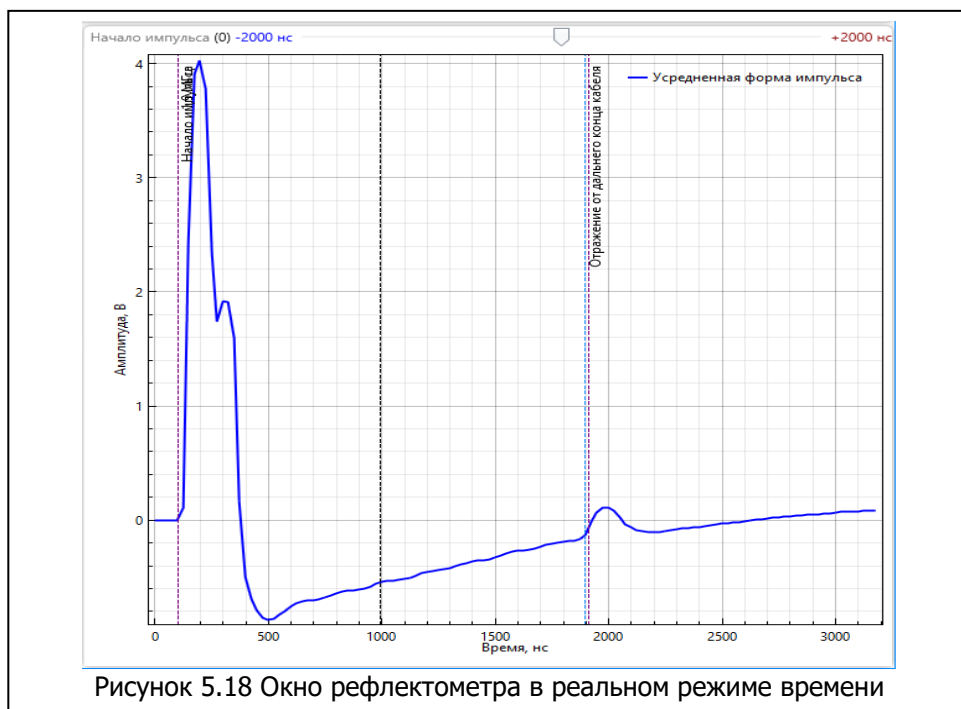
Рисунок 5.17 Окно рефлектометра в реальном режиме времени

В настройках параметров можно изменить:

- Длину кабельной линии;
- Коэффициент укорочения;
- Включить/выключить дополнительную программную частоту дискретизации сигнала для лучшего усреднения и более точной локации;
- Включить/выключить группировку «похожих» импульсов в каждой из выбранных зон;
- Количество усреднений рефлектограмм;
- Включить/выключить дополнительную онлайн цифровую фильтрацию сигналов в соответствии с выбранными параметрами (тип фильтра и диапазон частот).

На амплитудно-фазовом распределении импульсов можно при помощи мыши изменить фазовые и амплитудные окна для регистрации рефлектограмм положительных импульсов (красная зона) и отрицательных (синяя зона). Из списка всех зарегистрированных рефлектограмм под графиком амплитудно-фазового распределения можно выбрать один для подробного анализа.

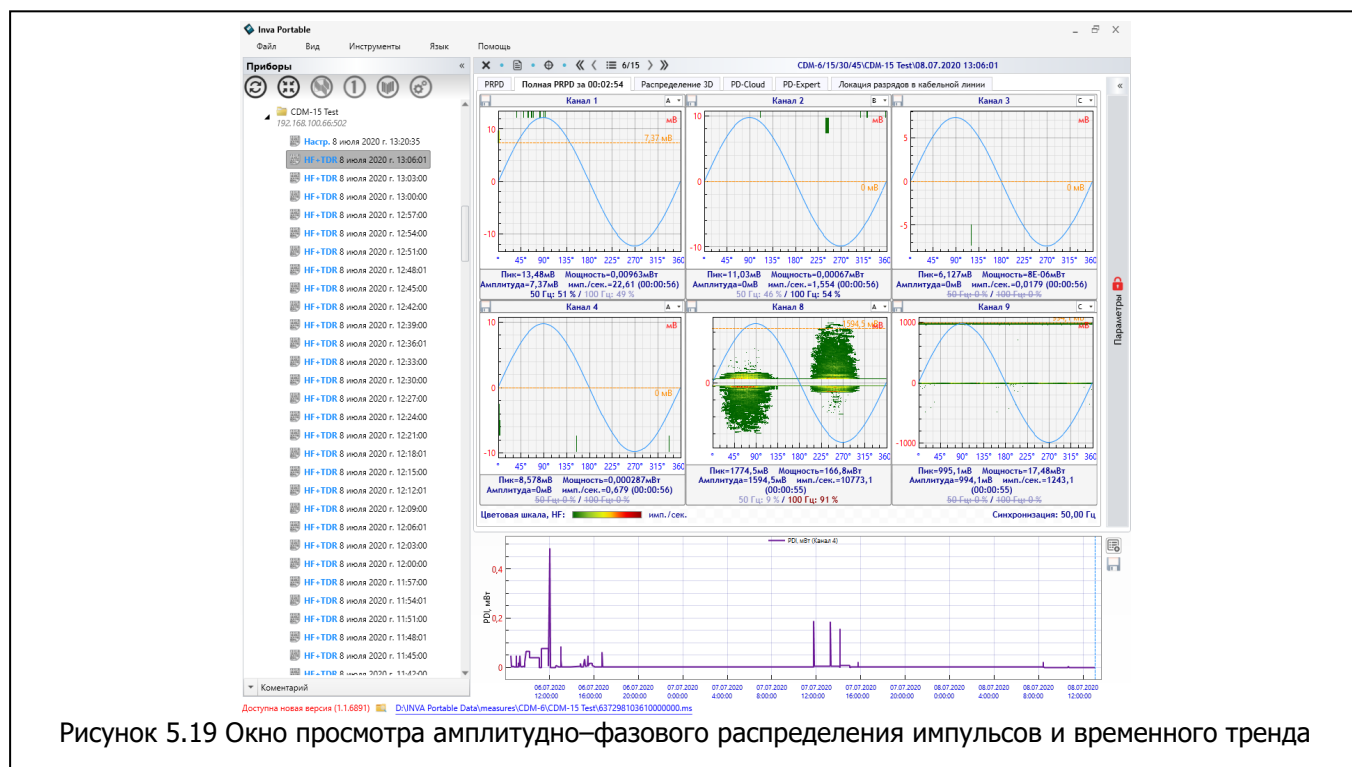
В окне подробного просмотра и анализа рефлектограммы отображается сигнал рефлектометра и курсоры, показывающие начало импульса, место отражения от концевых и соединительных муфт.



При возможности проведения автоматической локации результат пишется под графическим отображением кабельной линии и отображается значком «». Пользователь может самостоятельно изменить положения источника разрядной активности, перемещая при помощи курсора значок локации «». При этом на рефлектограмме будут автоматически перемещаться курсоры, показывающие место отражения от конца линии соединительных муфт.

Просмотр данных

Выберите измерение в списке базы данных сохраненных измерений. В правой части окна программы откроется просмотр сохраненных данных. Одновременно на экран выводится не более шести каналов.



В нижней части окна отобразится тренд изменения параметров ЧР во времени по всем данным измерений, хранящимся в текущей папке и вложенных в нее. Изменить набор отображаемых в тренде графиков можно при помощи кнопки «». При выборе левой кнопкой мыши точки на тренде в верхней части открываются подробные данные этого измерения (аналогично действию команды «открыть» на этом измерении в окне структуры БД). Вывести параметр для просмотра временного тренда можно только из числа выбранных каналов.

Над данными измерения находится панель выбора каналов:

«<< < ≡ 2/35 > >>»

На ней слева - направо расположены:

- «<<» - выбирает предыдущие N каналов. То есть, если были выбраны каналы 4-6, после нажатия кнопки будут выбраны каналы 1-3.
- «<» - смещает все выбранные каналы на один влево. То есть, если были выбраны каналы 4-6, после нажатия кнопки будут выбраны каналы 3-5.
- «≡» - открытие окна произвольного выбора каналов.
- «2/35» - информация о количестве выбранных каналов, и общем количестве каналов, учтывавших в измерении.
- «>» - смещает все выбранные каналы на один вправо. То есть, если были выбраны каналы 4-6, после нажатия кнопки будут выбраны каналы 5-7.
- «>>» - выбирает следующие N каналов. То есть, если были выбраны каналы 4-6, после нажатия кнопки будут выбраны каналы 7-9.

Окно произвольного выбора каналов позволяет:

- Выбрать до шести каналов в любой последовательности.
- Выбрать каналы с наибольшей амплитудой ЧР в данном измерении;
- Выбрать каналы с распределениями, наиболее похожими на ЧР (по коэффициенту 50/100Гц);
- Переключиться на ближайшее по дате измерение в связанной папке, если связь между папками установлена.

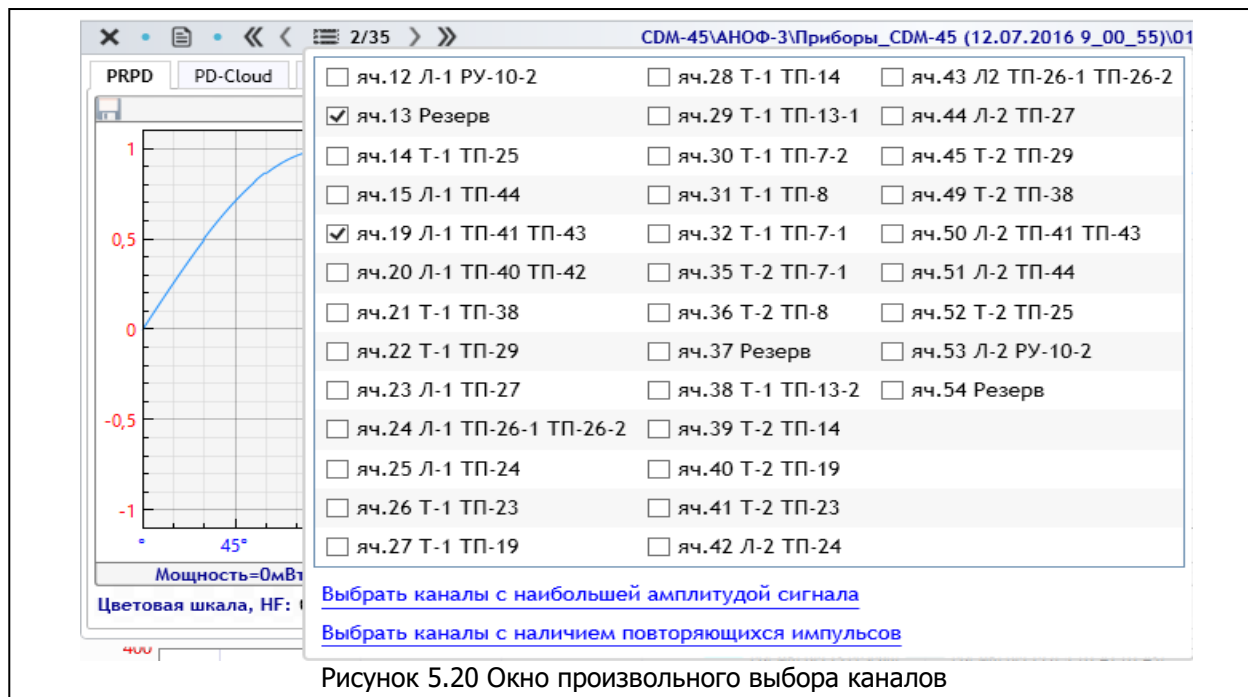
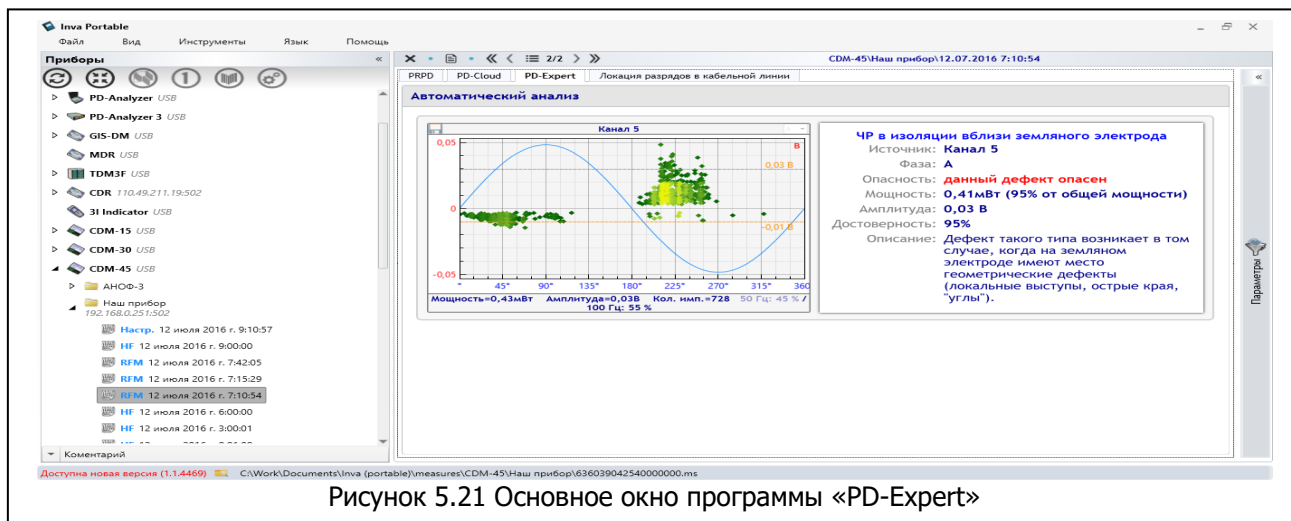


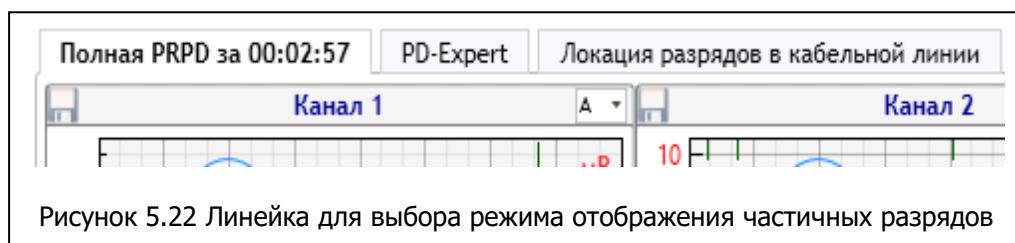
Рисунок 5.20 Окно произвольного выбора каналов

Просмотр данных одного измерения доступен в следующих режимах:

- Амплитудно-фазовое распределение (PRPD);
- PD-Expert;
- Локация разрядов в кабельной линии (при наличии рефлектограммы в измерении).



Смена режима просмотра осуществляется при помощи выбора вкладок с соответствующим названием.



Амплитудно-фазовое распределение импульсов PRPD

На этом распределении по вертикальной оси отложена амплитуда импульсов, по горизонтальной – фаза промышленной частоты. Каждый отдельный импульс изображается в этой координатной плоскости. Все распределение разбивается на таблицу с определенным шагом по амплитуде и фазе. При попадании большого количества импульсов в одну ячейку таблицы все импульсы этой ячейки окрашиваются более интенсивным цветом. Цвет – это характеристика частоты возникновения импульсов со сходными амплитудными и фазовыми параметрами. Цветовая шкала приведена внизу распределений.

5.4 Экспертная часть программы

PD-Expert

В данном окне отображаются результаты автоматической диагностики по выбранному измерению.

В правой части приведен анализ областей, выбранных системой PD-Expert во всех измерительных каналах по автоматическим алгоритмам. Справа от каждой области приведено заключение о типе дефекта, возможных местах его возникновения, степени его опасности.

Локация разрядов в кабельной линии

В каждом измерении могут быть сохранены рефлектограммы по нескольким каналам, и даже по каждому каналу может быть сохранено несколько рефлектограмм (например, усредненные сигналы от положительных и отрицательных импульсов). Измерения с рефлектограммами в окне структуры БД отмечается символом «Локация разрядов в кабельной линии».

В левой части окна задаются параметры отображения и самой кабельной линии, ее «паспорт»: длина, коэффициент укорочения.

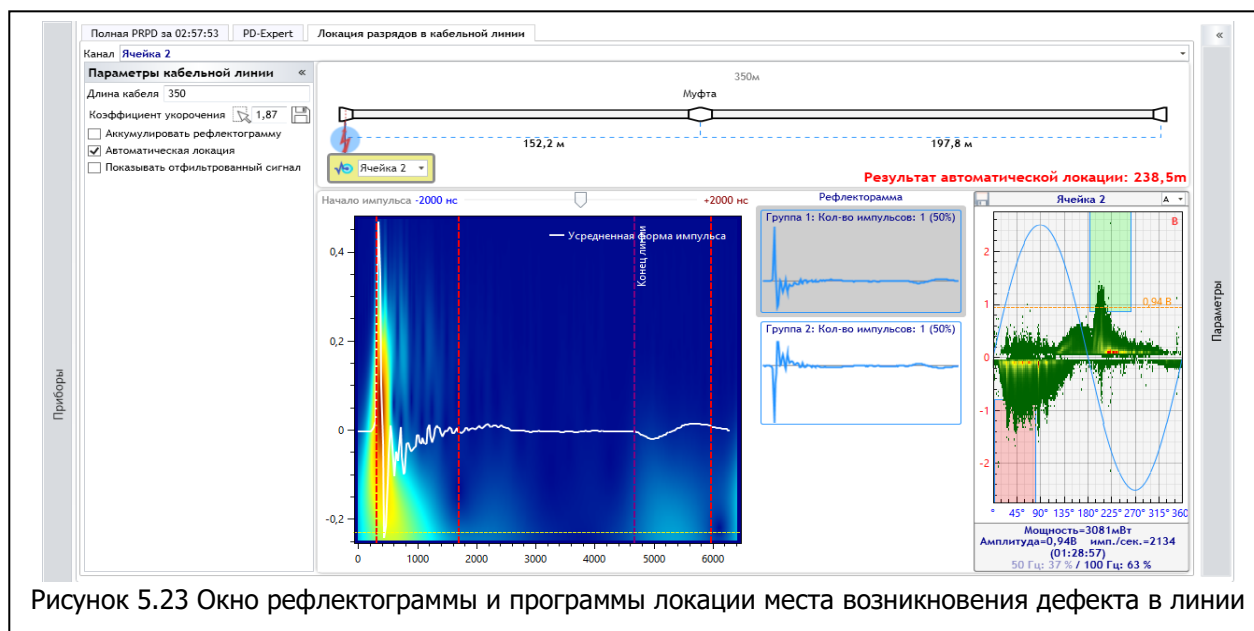


Рисунок 5.23 Окно рефлектограммы и программы локации места возникновения дефекта в линии

В верхней части – список каналов с рефлектограммами. Ниже – схематическое изображение КЛ с результатами автоматического расчета программы, окно выбора рефлектограммы с описанием причины запуска рефлектометра и окно с изображением самой рефлектограммы.

В центре находится график рефлектограммы, выбранный из списка рефлектограмм (рядом с графиком).

В правой части окна – амплитудно-фазовое распределение импульсов в канале и границы зоны рефлектометрии, выбранные согласно настройкам устройства "CDM".

Перемещая на схеме КЛ элемент, обозначающий дефект - ⚡, можно произвести самостоятельный расчет. Для этого необходимо совместить курсор в окне рефлектограммы с началом предполагаемого отражения.

Формирование отчета

Программное обеспечение имеет функцию автоматического формирования диагностических протоколов. Протокол может быть сформирован по одному измерению, по выбранной группе измерений, по всем измерениям, предшествующим выбранному.

Для формирования отчета по выбранному измерению выберите команду «Диагностика» из меню измерения или «Сформировать отчет (выбранное измерение)» из меню формирования отчета.

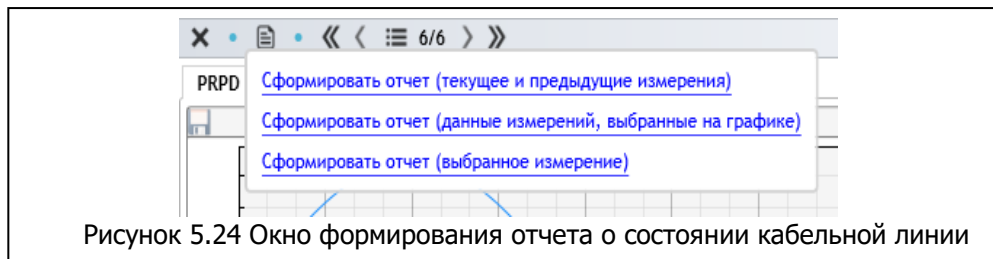
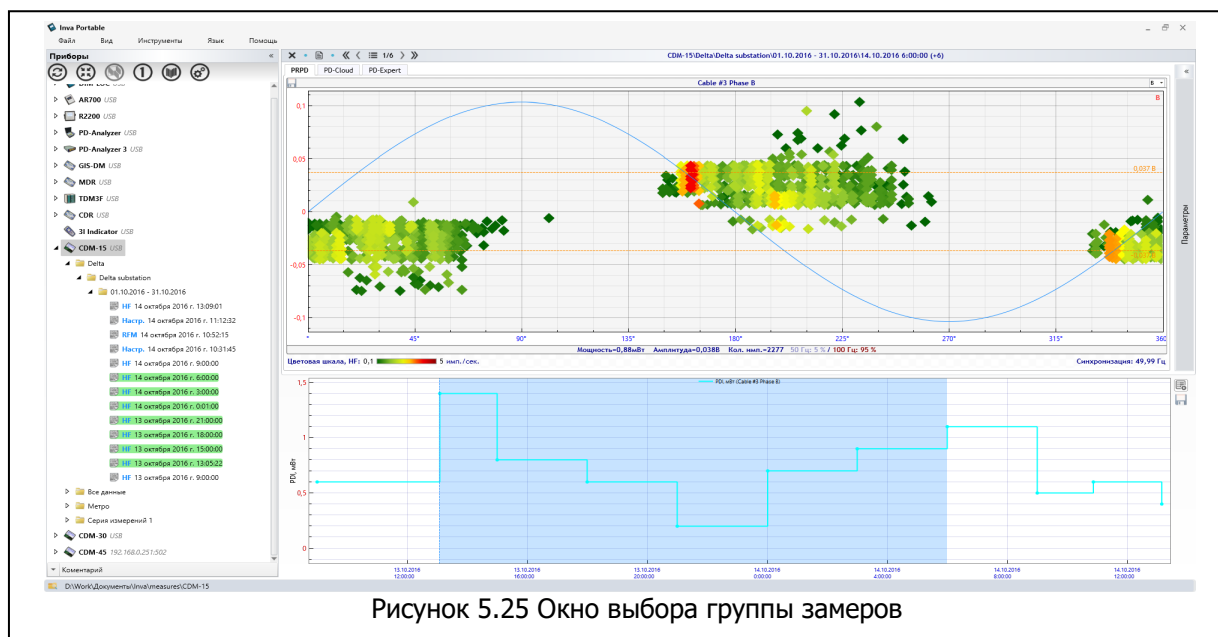


Рисунок 5.24 Окно формирования отчета о состоянии кабельной линии

Для формирования отчета по выбранному измерению и всем измерениям, выполненным ранее выбранного, выберите команду «Сформировать отчет (текущее и предыдущие измерения)» из меню формирования отчета.

Для формирования отчета по выбранному набору измерений в окне временного тренда выберите при помощи левой кнопки мыши первое измерение, затем, удерживая клавишу Shift, последнее измерение диапазона.

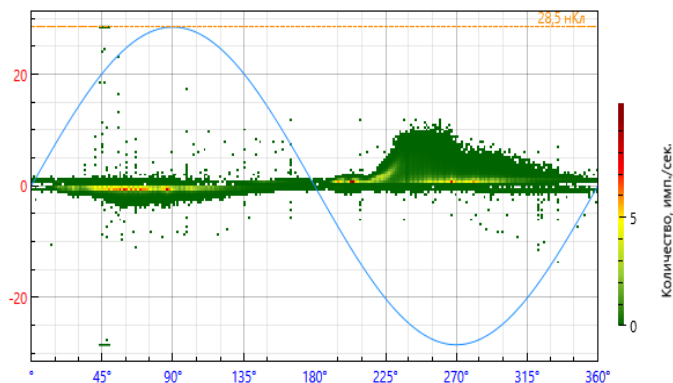


Выбранные измерения будут отмечены зеленым цветом в списке окна структуры БД. Выберите команду «Сформировать отчет (данные измерений, выбранные на графике)» из меню формирования отчета.

Ячейка 6

1) Зарегистрированы частичные разряды, диагностируемые как "ЧР в изоляции вблизи земляного электрода". Данный тип распределения представляет опасность. Частичные разряды такого типа зарегистрированы в 38% замеров. Дефект такого типа возникает в том случае, когда на земляном электроде имеют место геометрические дефекты (локальные выступы, острые края, "углы").

Существует прямая зависимость между температурой и мощностью импульсов. Корреляция 33%.
Не обнаружена зависимость между влажностью и мощностью импульсов.



Мощность частичных разрядов: 1464,45 мВт, амплитуда (Q02): 28,49 нКл

График изменения интенсивности частичных разрядов за выбранный интервал

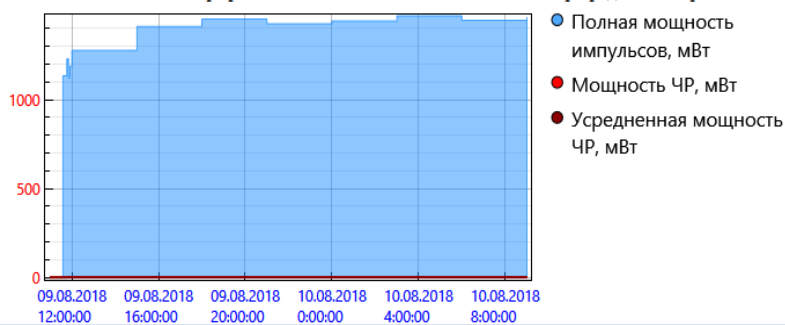


Рисунок 5.26 Пример части отчетной формы «PD-Expert»

В отчет можно добавить название компании в верхний колонтитул и заключительную фразу (комментарий). Это можно сделать при помощи выбора команды «Диагностика → Параметры отчета» из меню папки на вкладке «Дополнительно».

Приложение А

Общие вопросы проведения измерения и анализа частичных разрядов в кабельных линиях

Все устройства CDM, предназначенные для контроля состояния и диагностики дефектов изоляции кабельных линий, работают на основе измерения и анализа частичных разрядов. По этой причине в данном приложении приведены базовые сведения по этому современному и эффективному методу контроля состояния высоковольтных изоляционных систем.

П.1.1. Параметры частичных разрядов

Частичный разряд – это искровой разряд очень маленькой мощности, который образуется внутри изоляции или на ее поверхности в оборудовании среднего и высокого классов напряжения. С течением времени периодически повторяющиеся частичные разряды разрушают изоляцию, приводя в конечном итоге к ее пробое. Обычно разрушение изоляции под действием частичных разрядов происходит в течение многих месяцев, и даже лет.

Поэтому регистрация частичных разрядов, оценка их мощности и повторяемости, а также локализация места их возникновения позволяет своевременно выявить развивающиеся повреждения изоляции и заранее принять необходимые меры, минимизирующие последствия катастрофического развития таких дефектов.

Все имеющиеся в мире стандарты по частичным разрядам (ЧР) определяют некоторый набор интегральных величин, которые могут рассчитываться или непосредственно измеряться при контроле состояния изоляции. Стандарты разных стран могут различаться в деталях, но в основных понятиях они совпадают.

Все стандарты по ЧР базируются на понятии «кажущийся заряд». Под «кажущимся» зарядом понимают такой заряд, который необходимо дополнительно и мгновенно «впрыснуть» в контролируемое оборудование, чтобы восстановить равновесие, нарушенное возникновением «внутреннего» частичного разряда. В этом определении очень важным является то, что не известны параметры реального внутреннего разряда, например, внутри газового включения, а измеряется реакция контролируемого высоковольтного объекта на возникший разряд. И эта реакция соответствует параметрам внешнего инжектированного в объект заряда. Поэтому заряд и назван «кажущимся», т. к. мы так считаем, не зная истинного значения реального ЧР.

Измеряется кажущийся заряд ЧР в пКл (пикокулонах). Если сложить все заряды, зарегистрированные в оборудовании за одну секунду, то получится ток ЧР – ток, протекающий в цепи, которую контролирует датчик (устройство контроля) дополнительно за счет возникновения ЧР. (По классическому определению электрический ток – это направленное движение зарядов). Поскольку ток от частичных разрядов связан с процессами необратимых преобразований энергии в тепло и в электрохимические процессы, то он является чисто активным и характеризует потери в изоляции из-за возникновения ЧР.

Идеологически важной характеристикой является «максимальный измеренный заряд». Почти все изготовители высоковольтного оборудования до сих пор пользуются этой величиной при приемных испытаниях.

Конечно, все понимают, что нужно измерять, причем что-то статистически достоверное. В старых приборах статистика задается временем усреднения, а в современных приборах это решается удалением из рассмотрения случайных одиночных выбросов. Например, в определении американского стандарта это звучит так: «амплитуда наибольшего повторяющегося разряда при наблюдении постоянных разрядов».

Следовательно, этот термин не предусматривает анализ отдельных выбросов. Чтобы сделать это определение более конкретным, необходимо ограничиться учетом только тех ЧР, которые повторяются не менее 10 раз за секунду. При частоте питающей сети в 50 герц получается, что один импульс должен быть не реже, чем за 5 периодов сети. Для удобства пользования этот термин будем брать в следующей формулировке: импульс ЧР будем считать периодически повторяющимся, если частота его следования составит 0,2 импульса на один период питающей сети. Далее в тексте параметр будет отражаться как Q_{02} .

Ценность этого параметра достаточно высока. Многие методы диагностики базируются на нем, хотя как отдельно взятый параметр он скорее плохой, чем хороший. По крайней мере, при постоянном мониторинге под рабочим напряжением. Мы имеем много оборудования, где большие (по амплитуде) ЧР живут успешно годами, а малые, но с большой частотой повторения, означают реальную проблему.

Как посчитать потери, вызванные ЧР. Это можно сделать достаточно просто. Ведь физически при каждом импульсе ЧР мы дополнительно впрыскиваем из источника испытательного напряжения в контролируемый объект «кажущийся» заряд. Заряд инжектируется мгновенно и связан с конкретным напряжением питающей сети. Значит, энергия, которая дополнительно вводится в оборудование (из-за) единичного ЧР, равна заряду, умноженному на мгновенное напряжение на объекте. Далее нужно просуммировать все импульсы и получить полную энергию ЧР. Если полную энергию поделить на полное время суммирования, то получим мощность ЧР. Этот параметр называется «потери энергии на частичные разряды».

Формула:

$$P = \frac{1}{T} \times \sum_{i=1}^m Q_i \times V_i$$

где:

P – мощность разрядов, Ватт,

T – время наблюдения, секунд,

m – число наблюденных импульсов за время T ,

$Q_i V_i$ – энергия i -го импульса

Базируясь на фазовом распределении импульсов ЧР, можно рассчитать мгновенное значение приложенного напряжения. Конечно, если фазовая привязка импульсов выполнена правильно и достоверно рассчитана мощность. Однако совсем не все приборы регистрируют фазовое распределение импульсов, а если эта функция в них реализована, то используемый датчик ЧР может регистрировать импульсы ЧР с двух или даже трех фаз объекта. Какое напряжение следует брать в таком случае, с какой фазы?

Для решения этого вопроса американский стандарт по ЧР предлагает использовать еще один диагностический параметр, который чаще всего называют PDI – «Partial Discharge Intensity». В этом параметре вместо мгновенного напряжения в момент прохождения импульса ЧР берется его действующее значение, т.е. одинаковое напряжение для всех импульсов, а не персональное для каждого. Проводя сравнительные расчеты, можно убедиться, что итоговое различие параметров, рассчитанных в первом и во втором случаях, лежит в пределах 20 %. Этого вполне достаточно, чтобы корректно оценить уровень и строить тренд. Параметр PDI является одним из основных, используемых для оценки интенсивности ЧР в контролируемом объекте.

По обоим полученным параметрам PDI и Q_{02} устройство CDM рассчитывает **тренд** или **скорость роста** (во сколько раз изменится параметр за год $PDI \cdot t$ и $Q_{02} \cdot t$ соответственно) и **изменение** (процент изменения за короткий интервал времени). Все эти параметры также могут быть использованы для оценки состояния любого высоковольтного оборудования.

Некоторые диагносты используют и другие параметры частичных разрядов, но их практическая ценность и пригодность для диагностики, по нашему мнению, существенно ниже. Тем не менее они иногда достаточно успешно применяются на практике.

П.1.2. Алгоритмы работы прибора

Важнейшей задачей диагностики состояния изоляции по параметрам частичных разрядов является проведение количественной и качественной оценки, в данном случае зарегистрированных частичных разрядов. Эта оценка имеет своей целью не только дифференцировать возможный тип дефекта, возникшего в изоляции, а в идеале и локализовать место его возникновения.

Все известные методы и средства анализа частичных разрядов, а также и способы диагностики состояния изоляции можно объединить в две взаимодополняющие группы.

К первой группе анализа частичных разрядов относятся методы, базирующиеся на анализе параметров отдельных импульсов разрядов. В них анализируются амплитудные и частотные параметры зарегистрированных импульсов, а также синхронные связи между импульсами, поступающими от датчиков, установленных в различных зонах контролируемого оборудования. Основное назначение методов этой группы – повышение достоверности проводимых измерений за счет более эффективной отстройки от помех.

При помощи всех этих методов анализа частичных разрядов обеспечивается необходимая достоверность проведения регистрации частичных разрядов в высоковольтном оборудовании различных типов. Все эти методы обычно реализованы на аппаратном уровне, заложены в измерительные приборы изготовителями технических средств.

Ко второй группе анализа относятся методы, базирующиеся на рассмотрении амплитудного и амплитудно-фазового распределения зарегистрированных импульсов частичных разрядов, т.е. их связь с параметрами рабочего напряжения.

Целью этих методов является определение типов имеющихся дефектов и комплексная оценка влияния выявленных дефектов на остаточный ресурс высоковольтной изоляции. Это методы наиболее высокого уровня диагностики, относящиеся к экспертным системам, используемым для получения конечных заключений о состоянии изоляции для практических специалистов.

Как уже говорилось выше, отличие современных приборов регистрации частичных разрядов от осциллографов состоит в том, что выходной информацией прибора является не осциллограмма, нуждающаяся в дополнительной экспертной оценке, а итоговая информация о количестве и основных параметрах импульсов, готовая для использования в экспертных диагностических системах. Весь процесс комплексной оценки параметров импульсов происходит в приборе в режиме реального времени в соответствии с заложенными в техническую часть прибора диагностическими алгоритмами.

Чем прибор современнее, тем большее количество диагностических алгоритмов реализовано в его технической и программной части. Чем больше реализовано таких алгоритмов, большими возможностями обладает специалист. Это позволяет ему заниматься не бесконечным рутинным просмотриванием осциллограмм, а диагностикой состояния изоляции в прямом ее понимании.

Рассмотрим наиболее важные способы анализа параметров частичных разрядов, используемых в устройствах CDM.

П.1.2.1. Выбор диапазона частот частичных разрядов

Одним из наиболее важных вопросов, возникающий при проведении диагностики состояния изоляции по частичным разрядам, является выбор диапазона частот, в котором предполагается проводить измерения параметров частичных разрядов. В этом вопросе в рекомендациях различных фирм-изготовителей диагностического оборудования существует очень широкий разброс в параметрах этого диапазона частот – от сотен килогерц до гигагерц.

Вопрос выбора частотного диапазона неоднозначен. В нем есть несколько противоположных аспектов, которые попробуем рассмотреть.

а) Параметры «кажущегося» частичного разряда.

Чтобы ответить на один аспект этого вопроса, необходимо вспомнить, какие электрические параметры мы измеряем, что мы считаем «измеренным частичным разрядом». Естественно, что мы не можем провести «прямые» измерения параметров частичных разрядов в изоляции. Сложностью является то, что разряды обычно происходят не только внутри корпуса оборудования, но и даже внутри самой изоляции. Кроме того, напряжения, с которыми работает контролируемое оборудование, бывает настолько большим, что ни о каких «прямых» измерениях и речи не может быть.

После каждого частичного разряда внутри оборудования из питающей сети происходит импульсная «подкачка энергии», необходимая для восстановления распределения электрического поля, искаженного разрядом. Именно этот электрический импульс мы

регистрируем при помощи наших датчиков, установленных «вокруг» черного ящика, которым нам представляется контролируемое оборудование.

Из этого следует очень важное заключение. Регистрируемый импульс «от частичного разряда», конечно, имеет связь с параметрами произошедшего внутри частичного разряда, но во многом (можно сказать, практически полностью) он сформирован электромагнитными параметрами контролируемого объекта. На параметры регистрируемого прибором импульса оказывают влияние многие факторы: геометрические размеры объекта, его внутренние электромагнитные связи, место возникновения дефекта.

Заклячая этот весьма поверхностный анализ особенностей измерения частичных разрядов, следует сказать следующее. Измерения в самом высокочастотном диапазоне имеют смысл только при контроле «прямого» электромагнитного излучения на подстанции при помощи зонда (антенны). При выборе частотного диапазона для проведения измерений внутри оборудования практически всегда следует ориентироваться не на параметры «истинного импульса», а на параметры «трансформированного импульса», регистрируемого снаружи объекта. При этом чаще всего оказывается, что самый высокочастотный импульс, возникший в середине кабельной линии на концевой разделке, где мы обычно устанавливаем свой датчик частичных разрядов, будет иметь частоту не более одного мегагерца. Аналогичная картина имеет место внутри крупных электрических машин и трансформаторов.

б) Связь реальной «зоны чувствительности» датчика частичных разрядов с его рабочей частотой.

Чем выше частота импульса, тем с большей скоростью он затухает в неоднородной комплексной среде, в виде которой удобно представлять все крупные высоковольтные машины и аппараты. Для диагностики состояния изоляции по частичным разрядам это имеет очень большое значение.

Для примера рассмотрим кабельную линию. Если частичный разряд возникает вблизи установленного устройства присоединения, то проблем с регистрацией импульса нет. Если же частичный разряд такой же интенсивности возникнет на «противоположном» конце кабельной линии, то этот импульс будет иметь в зоне нашего датчика существенно пониженную амплитуду. Кроме того, частота импульса за счет затухания высоких частот по мере распространения импульса значительно снизится. Реально это выразится в затягивании переднего фронта импульса. На практике это приведет к тому, что импульсы от одинаковых частичных разрядов, но возникших в разных частях кабеля, прибором будет интерпретироваться как импульсы различной интенсивности со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Отсюда следует простой диагностический признак, иногда оказывающийся практически полезным при оценке вероятного места возникновения дефекта в изоляции. Чем более высокочастотным является зарегистрированный импульс, тем ближе к датчику располагается зона его возникновения. Чем круче передний фронт импульса частичного разряда, тем выше его частота.

Такой диагностический подход продемонстрирован на рисунке П.1.1.

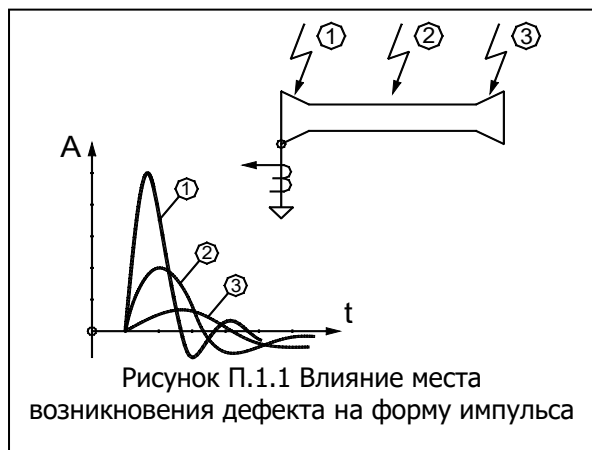


Рисунок П.1.1 Влияние места возникновения дефекта на форму импульса

На нем в качестве примера приведена кабельная линия, в которой указаны три места возникновения частичных разрядов. Чем ближе к первичному датчику возникает частичный разряд, тем круче передний фронт регистрируемого импульса. Кроме того, по мере удаления от датчика снижается амплитуда регистрируемого импульса.

Данный эффект легко можно проверить в процессе проведения градуировки измерительной цепи при помощи калибровочного генератора. Для этого необходимо градуировочный импульс инжектировать поочередно с двух сторон кабельной линии и определять при этом

чувствительность измерительной схемы. При этом можно достаточно точно определить количественное значение коэффициента затухания частичных разрядов.

Сразу же встает важный вопрос. Очевидно, что для каждого датчика существует зона чувствительности, в которой его использование не приводит к большой погрешности измерений. Каковы размеры этой зоны? Следствием этого вопроса становится следующий вопрос: если зона чувствительности данного датчика не захватывает весь объем контролируемого оборудования, то сколько же всего нужно таких датчиков, чтобы снять это ограничение. Понятно, что чем меньше для проведения измерений нужно датчиков, тем это лучше.

Мы подошли к самому важному вопросу, а какие же датчики, лучше, какие имеют большую зону контроля частичных разрядов в изоляции. Ответ здесь прост, чем ниже рабочая частота датчика, при прочих равных условиях, тем шире его «зона ответственности». Чаще на практике применяются устройства контроля серии «RFCT», которые дешевы, просты в монтаже и работают в достаточно широком диапазоне частот, что позволяет контролировать частичные разряды во всем объеме высоковольтного оборудования. Для регистрации низкочастотных сигналов при помощи конденсаторов связи, необходимо использовать конденсаторы с емкостью не менее 1000 пикофард, что позволяет приблизить их АЧХ к АЧХ высокочастотных трансформаторов тока. Конденсаторы связи позволяют проводить прямые измерения и на данный момент можно построить более чувствительную систему при использовании именно конденсаторов связи, но их монтаж намного сложнее и стоимость в разы выше стоимости трансформаторов тока. Поэтому подбор типа устройств контроля, зависит от многих факторов и требует внимательного изучения при разработке системы мониторинга.

с) Связь рабочего диапазона частот измерительной схемы регистрации частичных разрядов с диапазоном частот активных помех.

Важным параметром, определяющим желательный диапазон частот измерительной схемы, является его связь с диапазоном частот помех. Например, наименее опасными и трудно устранимыми являются помехи от коронных разрядов.

Существует несколько различных взглядов на частотный диапазон, в котором влияние коронных разрядов наиболее сильно. Одни авторы считают, что влияние коронных разрядов максимально в диапазоне частот, меньшем, чем 5 Меггерц. Есть работы, в которых зона максимальных помех определена в частотном диапазоне от 5 до 20 Меггерц. Есть информация о том, что для того, чтобы отстроиться от помех, нужно проводить измерения в диапазоне частот, превышающем 200 Меггерц.

Сильное различие между информацией разных авторов, очевидно, обусловлено тем, что все эти исследования проводились для разных типов высоковольтного оборудования. Не существует одинаковых рекомендаций, в каждом конкретном случае необходимо проводить специальные исследования, чтобы выявить информативную частотную зону, в которой присутствуют частичные разряды, а влияние помех минимально.

На основании всего вышеизложенного, учитывая наличие в наших приборах очень эффективных средств отстройки от помех, было принято однозначное решение по частотному диапазону наших приборов. Все приборы регистрации частичных разрядов, изготавливаемые нашей фирмой, наиболее хорошо регистрируют импульсы с частотой от 0.1 до 20 меггерц. Это обеспечивает нам максимально большую зону чувствительности датчиков, охватывающую практически весь контролируемый объект, а эффективные средства отстройки от помех дают возможность получать итоговые результаты с хорошей достоверностью.

П.1.2.2. Сравнение импульсов частичных разрядов по амплитуде.

Один и тот же импульс от частичного разряда, возникшего внутри контролируемого оборудования, может быть зарегистрирован несколькими датчиками, установленными в разных точках. Например, разряд в высоковольтной обмотке фазы «А» силового трансформатора, будет зарегистрирован всеми тремя датчиками, установленными на измерительных выводах высоковольтных вводов трансформатора. Этот же сигнал будет зарегистрирован датчиками, подключенными к обмотке СН или НН.

Эти сигналы, зарегистрированные несколькими датчиками от одного импульса частичного разряда, будут иметь некоторые отличия. В основном эти отличия будут заключаться в двух параметрах. Во-первых, сигналы будут иметь разную амплитуду, т. к. при перенаводке в соседние фазы сигнал ослабнет. Во-вторых, разными датчиками сигнал регистрируется со сдвигом во времени. Это объясняется различием во времени движения импульса от места возникновения дефекта до места установки датчика. Эта разница может составлять десятки наносекунд.

Рассмотрим особенности использования в практике различий амплитуд сигналов, возникших от одного частичного разряда, но зарегистрированных датчиками, установленными в разных местах контролируемого оборудования. При этом еще раз напомним, что анализ таких особенностей сигналов должен проводиться в приборе на аппаратном уровне в режиме реального времени.

Очевидно, что при перенаводке сигнала (с одной фазы трансформатора на другую фазу, с одной секции обмотки на другую, с одной фазы кабельной линии на другую) амплитуда наведенного сигнала меньше амплитуды первичного сигнала. Это является самым важным амплитудным признаком частичного разряда при многоканальной регистрации, при помощи которого можно уточнить, а иногда и указать точно место возникновения дефекта в изоляции.

П.1.2.3. Оценка взаимного времени прихода импульсов.

Применение данного метода базируется на простом физическом явлении – учете конечного значения скорости движения волны (электромагнитного поля) внутри контролируемого объекта.

С учетом того, что диэлектрическая проницаемость среды внутри контролируемого объекта отличается от диэлектрической проницаемости вакуума (воздуха), скорость движения волны в объекте всегда будет меньше скорости движения волны в вакууме. В среднем можно считать, что скорость движения волны в объекте составляет 0,55 – 0,65 от скорости волны в вакууме. Отсюда следует, что один метр расстояния внутри объекта волна электромагнитного поля преодолевает за 6 – 7 наносекунд.

Данный метод локализации места возникновения дефекта в изоляции особенно эффективен при диагностике состояния изоляции кабельных линий и КРУ. Данные объекты имеют значительные линейные габариты, внутри которых можно контролировать разновременность прихода импульса к различным датчикам.

При использовании данного метода необходимо помнить, что длина соединительных линий от датчиков до измерительного прибора должна быть одинаковой. Это автоматически следует из того, что и в этих соединительных кабелях мы имеем такую же скорость движения волны электромагнитного поля.

Не лишен практического смысла вариант создания измерительной схемы, в которой длина измерительных кабелей от разных датчиков может специально выбираться не одинаковой. При этом можно создать такие условия, когда прибор будет сравнивать не «прямое» время между приходом импульсов от датчиков, а «относительное» время, когда в алгоритм определения времени прихода импульсов будет введена задержка. Уменьшая длину кабеля от одного или другого датчика, можно добиться задержки во времени прихода импульсов со знаком плюс или минус.

П.1.2.4. Сравнение импульсов по полярности.

Использование метода «разборки» импульсов на «полезные» и «шумовые» при помощи сравнения полярности является достаточно распространенным. Самое главное, что нужно понимать при этом, что физическая модель причин возникновения разницы в полярности импульсов от разных датчиков должна быть достаточно обоснована. Нельзя просто использовать факт, что полярность у сигнала и помехи оказались различны. Это не должно быть причиной применения метода. Необходимо понимать, что это соответствует физической картине распространения импульсов внутри контролируемого объекта.

П.1.3. Оценка состояния и диагностика дефектов изоляции по распределению импульсов частичных разрядов

В этом разделе мы попробуем рассмотреть два основных способа, наиболее часто используемых на практике для оценки степени влияния зарегистрированных частичных разрядов на надежную и безаварийную работу контролируемого высоковольтного оборудования.

Назначение этих двух диагностических методов различно. На основании анализа амплитудно-фазового распределения импульсов частичных разрядов чаще всего удается дифференцировать тип дефекта, имеющегося в изоляции высоковольтного оборудования. Такая информация плюс подробная информация о внутренней конструкции изоляции в данном оборудовании оказывается очень полезной для оценки опасности обнаруженного дефекта.

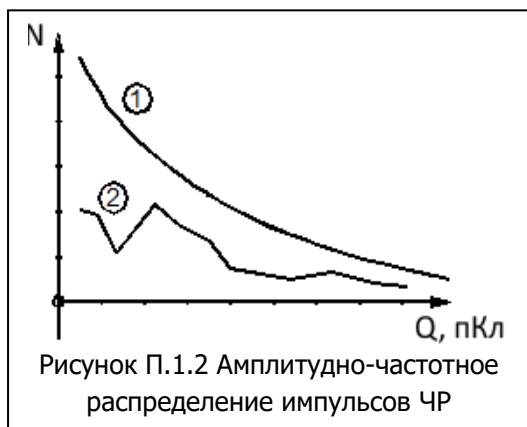
При помощи анализа тенденций в изменении зарегистрированной интенсивности проявления частичных разрядов в изоляции обычно оценивается состояние дефекта. Принимается очень важное решение, является ли дефект стационарным или же развивающимся. Наиболее опасными являются дефекты, развивающиеся, когда зона или интенсивность дефекта постепенно увеличивается. Наличие положительного тренда в интенсивности частичных разрядов является наиболее опасным признаком развития дефектов в изоляции.

Эти оба метода являются взаимодополняющими. Выводы одного метода позволяют расширить или же, наоборот, дифференцировать заключения, полученные с использованием другого метода.

П.1.3.1. Анализ амплитудно-фазового распределения импульсов в высоковольтном оборудовании – основа для определения типа дефекта в изоляции.

Для анализа дефектов в изоляции можно использовать несколько типов «графического» представления распределения зарегистрированных импульсов частичных разрядов. Различают два наиболее часто применяемых на практике распределения: амплитудно-частотное и амплитудно-фазовое (частотное) распределение импульсов частичных разрядов.

Рассмотрение начнем с амплитудно-частотного распределения импульсов.



По своему первичному определению амплитудно-частотное распределение высокочастотных импульсов должно показывать, какое количество импульсов данной амплитуды было зарегистрировано в процессе проведения измерений частичных разрядов. Пример такого амплитудно-частотного распределения импульсов приведен на рисунке П.1.2. По горизонтальной оси графика отложены значения кажущихся зарядов зарегистрированных импульсов (или амплитуды импульсов в милливольтках), а по вертикальной оси отложены количество импульсов.

Необходимо очень хорошо понимать следующую особенность принятой здесь терминологии. Наличие в этом наименовании графика термина «частотное распределение» никак не связано с частотными свойствами зарегистрированных самих импульсов частичных разрядов. Это никак не связано ни с крутизной переднего фронта реального импульса частичного разряда, ни с длительностью этого импульса. Термин «частотное распределение» используется здесь как параметр, показывающий некоторую количественную сторону результатов, а именно количество импульсов частичных разрядов. В данном конкретном случае здесь на приведенном рисунке амплитудно-частотном графике рассматривается распределение импульсов, сгруппированных по принципу равенства амплитуд.

На рисунке П.1.2. показаны два различающихся графика. График 1 соответствует интегральному распределению импульсов частичных разрядов, когда происходит суммирование импульсов по мере увеличения порогового значения амплитуды. Самую малую амплитуду «преодолевают» все зарегистрированные прибором импульсы. В правой части графика находятся

только те импульсы, которые имеют наибольшую амплитуду, преодолели только самые большие по амплитуде пороги.

График 2 соответствует другому дифференциальному представлению распределения импульсов частичных разрядов. На нем каждому значению амплитуды соответствует зарегистрированное количество только тех импульсов, которые имели соответствующую пороговую (плюс – минус) амплитуду. Оба графика достаточно часто используются в практике анализа, для некоторых задач диагностики предпочтительнее интегральное представление распределения импульсов, для других – дифференциальное.

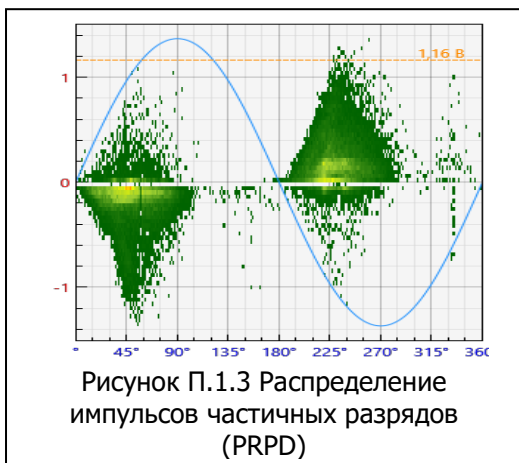


Рисунок П.1.3 Распределение импульсов частичных разрядов (PRPD)

Более информативным является амплитудно-фазовое (частотное) представление распределения импульсов частичных разрядов. Пример такого распределения показан на рисунке П.1.3.

На таком графике показывается распределение импульсов по амплитуде, фазовому углу напряжения сети и количеству импульсов. Такое распределение полностью описывается матрицей, в которой есть строки, различающиеся по амплитуде, столбцы, соответствующие определенным фазовым зонам питающего напряжения (от 0 до 360 «электрических» градусов). В каждой ячейке матрицы стоит число, количественно показывающее, сколько импульсов частичных разрядов с такими параметрами было

зарегистрировано. Слово «частотное» в наименовании таких диаграмм часто опускают, называя их просто амплитудно-фазовыми диаграммами.

Важным является вопрос, почему частичные разряды возникают в зоне нарастания напряжения питающей сети и практически полностью отсутствуют в зоне, где напряжение

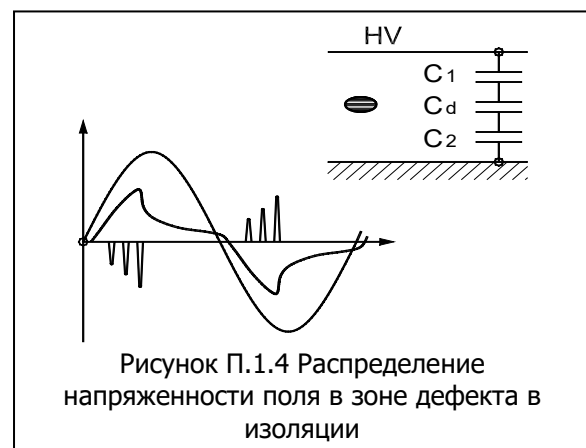


Рисунок П.1.4 Распределение напряженности поля в зоне дефекта в изоляции

относительно амплитудного значения уменьшается. На рисунке П.1.4. приведена информация, при помощи которой мы попытаемся хотя бы поверхностно проанализировать это сложное физическое явление.

На рисунке условно показан слой высоковольтной изоляции с дефектом типа «газовое включение» в середине. Рядом с дефектом показана условная схема замещения слоя изоляции, состоящая из трех зон, каждая из которых представлена на схеме замещения в виде отдельного конденсатора. Конденсаторы C1 и C2 показывают участки нормальной изоляции, а

конденсатор Cd моделирует дефект в изоляции. На графике слева внизу показана синусоида питающего напряжения. На этом же графике показано изменение напряжения на зоне дефекта в функции времени и частичные разряды, которые возникают в этой зоне.

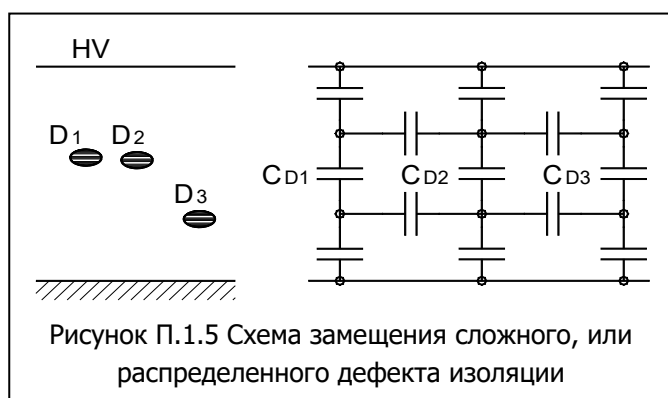
При росте приложенного к изоляции напряжения по схеме замещения изоляции начинает протекать ток, пропорциональный мгновенному значению и скорости изменения питающего напряжения. На каждом конденсаторе схемы замещения начинает возрастать напряжение. Сумма напряжений на трех конденсаторах всегда равняется приложенному напряжению.

При возрастании напряжения на газовом (воздушном) включении до пробойного значения (более 3 кВ / мм для воздуха) возникают частичные разряды. В результате воздействия каждого частичного разряда падение напряжения на зоне дефекта уменьшится, а напряжение на конденсаторах C1 и C2 возрастает. Поскольку напряжение питающей сети еще растет, то напряжение на дефекте опять подрастает до пробойного напряжения, происходит новый разряд, и опять это приводит к росту напряжения на участках бездефектной изоляции.

Наступает такой момент времени, когда питающее напряжение еще растет, но поскольку оно практически полностью сосредотачивается на участках исправной изоляции, напряжение на зоне дефекта не может вырасти до пробойного значения. Интенсивность разрядов падает, и ближе к 90 градусам разряды прекращаются полностью.

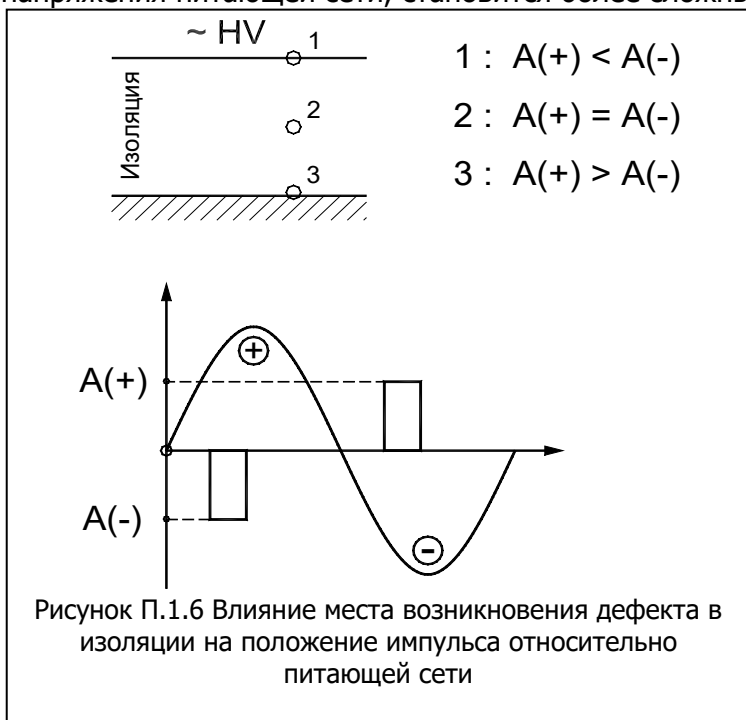
На участке снижения питающего напряжения от амплитудного значения до нуля частичных разрядов в зоне дефекта не происходит, т. к. имеет место снижение напряжения на всех трех конденсаторах схемы замещения. Напряжение на зоне дефекта так же уменьшается, предпосылок для возникновения частичных разрядов от дефектов внутри изоляции нет.

В момент перехода питающего напряжения через нулевую линию напряжение на зоне дефекта не равняется нулю. Оно имеет какое-то остаточное значение с полярностью, которая соответствует распределению напряженности электрического поля в предшествующую полуволну питающего напряжения. Необходимо, чтобы напряжение питающей сети, которое уже имеет в данный момент противоположную полярность, смогло скомпенсировать остаточный заряд на зоне дефекта. В итоге это приведет к некоторому фазовому запаздыванию импульсов относительно точки перехода напряжения через ноль.



На рисунке П.1.5. приведен случай наличия трех дефектов в изоляции, расположенных достаточно близко друг от друга, или случай распределенного дефекта. При этом общая электрическая схема замещения зоны дефекта, приведенная справа, становится более сложной. Появляются горизонтальные емкостные связи между локальными зонами дефектов, обусловленные взаимным влиянием дефектов друг на друга. При наличии нескольких дефектных зон возникновение частичного

разряда в одной дефектной зоне практически всегда приводит к перераспределению напряженностей электрического поля вокруг других зон дефектов, расположенных недалеко друг от друга. Это создает еще более сложную картину распределения электромагнитного поля и, как следствие, сложную картину возникновения разрядов. Анализ фазового распределения частичных разрядов, имеющий целью выявление типа и места возникновения дефекта в зависимости от типа и распределения дефекта, фазового угла и амплитуды приложенного напряжения питающей сети, становится более сложным.



При необходимости можно проанализировать влияние дефектных зон друг на друга, что даст возможность оценить особенности возникновения дефектов в изоляции различного оборудования. При этом следует принимать во внимание особенности исполнения изоляции. Например, возникновение дефектов в зоне выхода лобовых частей из пакета статора (при локальном распределении дефектов) отличается от физической картины множественных дефектов в протяженной кабельной линии (в случае распределенной зоны дефектов в изоляции).

Такой же «прикидочный» анализ может быть использован применительно к рисунку П.1.6

приведенному ниже. На нем анализируется влияние места возникновения дефекта внутри изоляции ближе к земляному электроду или к высоковольтному на соотношение амплитуд положительных и отрицательных импульсов частичных разрядов. В соответствии с нашим анализом, смещение места возникновения дефекта внутри изоляции эквивалентно для схемы замещения на рисунке П.1.5 изменению соотношения величин емкостей C_1 и C_2 . В результате изменяется соотношение между амплитудами положительных и отрицательных частичных разрядов.

Для примера возможностей практического применения амплитудно-фазовых диаграмм в общем виде рассмотрим влияние места возникновения дефекта в изоляции высоковольтного оборудования на вид амплитудно-фазового распределения импульсов частичных разрядов. Для большей наглядности проиллюстрируем этот анализ при помощи рисунка П.1.6.

В слое изоляции контролируемого оборудования выделим три характерных, наиболее часто встречающихся места возникновения дефекта:

Точка «1» – вблизи высоковольтного электрода (ввод трансформатора, жила кабеля, шина КРУ);

Точка «2» – внутри слоя высоковольтной изоляции;

Точка «3» – вблизи земляного электрода. Это может быть выравнивающий полупроводящий слой в изоляции, разделка кабельной линии, экран муфты и т. д.

Не вдаваясь в физические подробности возникновения разрядов на разных участках изоляции, будем с приемлемой для нашего оценочного анализа точностью считать, что все частичные разряды сосредоточены в двух достаточно узких угловых зонах. Согласно рисунку, эти зоны располагаются на участках возрастания напряжения питающей сети.

При положительном напряжении все частичные разряды имеют отрицательную полярность и сосредоточены в одной фазовой зоне до 90 градусов (разряды с амплитудой «А-»). При отрицательном напряжении питающей сети все частичные разряды имеют положительную полярность и сосредоточены в угловой зоне до 270 градусов (разряды с амплитудой «А+»).

Точка «1» где возник дефект изоляции, соответствует случаю, когда разряд возникает практически на высоковольтном электроде. Это классический коронный разряд со всеми вытекающими последствиями. На положительной полуволне питающего напряжения импульсы отрицательных разрядов «А-» имеют максимальную интенсивность. На отрицательной полуволне питающего напряжения положительные разряды «А+» имеют существенно меньшую амплитуду.

Точка «3» возникновения дефекта в изоляции на рисунке соответствует случаю, когда частичный разряд возникает вблизи или на самом земляном электроде. В этом случае разряды во время положительного питающего напряжения (разряды с амплитудой «А-») будут меньше, чем разряды во время отрицательной полуволны питающего напряжения (разряды с амплитудой «А+»). Данное распределение импульсов разрядов противоположно, чем при наличии в контролируемом оборудовании коронных разрядов на высоковольтном электроде. На практике это бывает при проблемах в полупроводящих слоях кабельных линий и обмоток, при утечках в лобовой части обмотки статора, при ослаблении крепления стержней обмотки статора в пазах.

Точка возникновения дефекта «2» является промежуточным вариантом, когда разряды возникают в глубине слоя изоляции. В этом случае амплитуды разрядов (зарегистрированных на положительной и отрицательной полуволне питающего напряжения) будут примерно одинаковыми. Такая картина распределения разрядов бывает при неправильной пропитке изоляции, наличии внутренних температурных разрушений. Если точка дефекта будет смещаться от центра в ту или иную сторону, будет изменяться соотношение амплитуд импульсов частичных разрядов в контролируемом оборудовании.

Данный анализ иллюстрирует тот факт, что только по соотношению интенсивности частичных разрядов (естественно, хорошо «отстроенных» от помех) на двух полупериодах питающей сети можно оперативно и достаточно надежно оценить, на каком участке контролируемой изоляции высоковольтного оборудования происходят частичные разряды – на высоковольтном электроде или вблизи земляного электрода.

П.1.3.2. Анализ частотных свойств частичных разрядов.

Много дополнительной полезной информации о природе частичных разрядов и месте их возникновения в контролируемом оборудовании может быть получено на основании анализа формы зарегистрированных импульсов – частотных свойств частичных разрядов в изоляции оборудования.

При этом очень важно понимать, что мы рассматриваем не свойства самого частичного разряда, а реакцию контролируемого объекта на возникший разряд. Один и тот же импульс, имеющий одинаковые параметры, но возникший в разных точках объекта, при регистрации будет иметь различные частотные параметры. Отсюда следует важное следствие, что импульсы, возникшие в одной зоне, будут иметь одни частотные свойства, а возникшие в другой зоне – другие частотные свойства. Именно это может позволить диагностам создавать диагностические правила, разделяющие импульсы по природе возникновения и локации места дефекта.

Основными частотными свойствами импульсов можно считать два параметра: частоту импульса частичного разряда и длительность затухания колебаний.

- Частота импульса частичного разряда.

Даже в этом, на первый взгляд, простом вопросе, как и во всем практическом применении теории частичных разрядов, есть определенные сложности. Частоту импульса можно определять, следуя классической теории, по полному периоду колебания, а можно только по первой волне импульса, используя удвоенное значение длительности этой полуволны. При этом легко можно получить частоту импульса, различающуюся на 50%. Это объясняется тем, что частотные свойства импульса на первой полуволне, а особенно на переднем фронте, существенно изменяются.

Данное обстоятельство вносит в анализ частотных свойств импульсов частичных разрядов определенный субъективизм, но не оказывает существенного влияния на диагностические возможности этого метода. Основное – применять одинаковые правила к определению частотных свойств импульсов частичных разрядов. Для оценки частоты импульса частичного разряда мы предлагаем использовать удвоенную длительность основного первого импульса.

Это значение умножается на два, и получается период импульса частичного разряда, по которому определяется кажущаяся частота. Понятие «кажущейся частоты» здесь введено по той простой причине, что мы имеем импульсы, различающиеся длительностью переднего и заднего фронтов. Кроме того, эти импульсы являются затухающими, причем частота по мере затухания обычно изменяется.

- Длительность импульса частичного разряда.

Этот параметр показывает, как долго длится реакция контролируемого объекта на возникший в изоляции импульс частичного разряда.

Временной интервал от начала и до завершения импульса также может определяться несколькими методами. Чаще всего используется некоторое значение коэффициента затухания, например 0,1 или 0,05. При колебательном уменьшении контролируется амплитуды импульсов. При снижении амплитуды до такого уровня относительно амплитуды первого импульса сигнал частичного разряда считается затухшим.

Оба частотных параметра импульсов ЧР не являются стационарными, они зависят от многих других реальных параметров. Один и тот же дефект, но возникший в различных зонах контролируемого оборудования, приводит к появлению импульсов с различными частотными свойствами. Но два различных дефекта, даже возникших на одинаковом удалении от датчика, будут иметь различные частотные свойства.

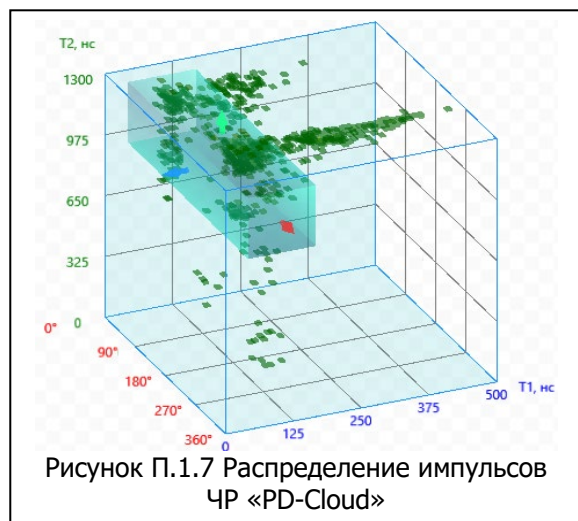
На этапе регистрации импульсов практическая ценность этих параметров не столь значительна. Необходимо «набрать» некоторое количество статистической информации, объем которой будет достаточен для обобщения свойств импульсов. Максимально эффективно частотные свойства импульсов можно использовать на этапе анализа распределения импульсов.

В этом методе все импульсы, вне зависимости от их амплитуды, необходимо разместить на статистической условной плоскости. Осями координат этой плоскости будут: по оси Y будем

откладывать для каждого импульса длительность (ось Y), а по оси X будем откладывать частоту импульсов.

Для удобства анализа и практического применения данного диагностического метода назовем это условную плоскость «время-частотной» плоскостью или «TF» (Times Frequency) плоскостью.

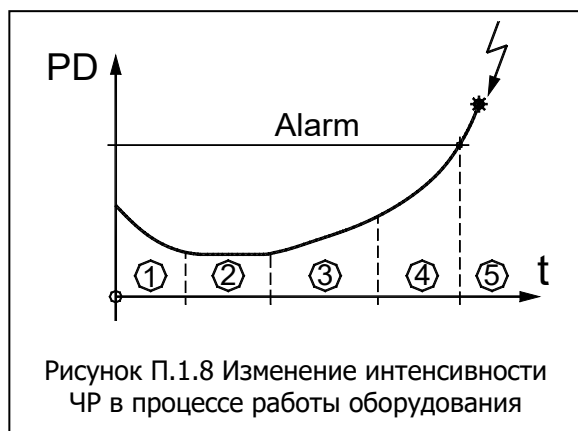
Импульсы одной природы и места возникновения будут сосредоточены на TF плоскости



в одной локальной зоне. Импульсы другой природы и места возникновения, как и импульсы помех, будут сосредотачиваться в других зонах. Анализ распределения импульсов на плоскости позволит локализовать их параметры.

Для более полного анализа нескольких параметров частичных разрядов можно перейти от двухмерной TF плоскости к трехмерной, введя дополнительно в рассмотрение амплитуды импульсов, откладывая их по оси Z. В этом случае можно говорить уже о «PD-Cloud». Эти диаграммы позволяют еще более эффективно разделять зарегистрированные импульсы частичных разрядов по природе и месту их возникновения, отделять их от помех. Пример такой локализации импульсов приведен на рисунке П.1.7.

П.1.3.3. Анализ изменения интенсивности частичных разрядов в процессе эксплуатации оборудования.



На рисунке П.1.8. приведена стандартизованная кривая изменения интенсивности частичных разрядов в процессе длительной работы и старения изоляции высоковольтного оборудования.

Это условная «линия жизни» изоляции, справедливая для большинства высоковольтного оборудования.

На первом этапе жизни изоляции после ее изготовления принимаются все меры для того, чтобы улучшить состояние изоляции. На этом этапе может проводиться дополнительная сушка изоляции, очистка, устранение мелких дефектов.

Период времени «2» является основным для нормально изготовленного и эксплуатируемого высоковольтного оборудования. В идеале он имеет максимальную длительность. В течение этого времени уровень частичных разрядов невелик и практически не изменяется. Оборудование эксплуатируется без ограничений, интервалы времени между проведениями измерений частичных разрядов определяются имеющимися на предприятии нормативами. Чаще всего измерения частичных разрядов в контролируемой изоляции совмещаются с проводимыми регламентными и ремонтными работами.

Период времени «3» характеризуется возникновением в контролируемой изоляции дефектов в начальных стадиях развития. Чаще всего это вызывается процессами старения изоляции, иногда механическими повреждениями верхних слоев изоляции. На этом временном этапе наблюдается устойчивый тренд в росте интенсивности частичных разрядов. От измерения к измерению количество и общая энергия частичных разрядов возрастает. Возникшие зоны дефектов расширяются. Интервалы времени между проведением измерений частичных разрядов существенно сокращаются. Величина этих интервалов между измерениями зависит от реальной скорости роста интенсивности частичных разрядов. Обычно граница этого этапа жизни

высоковольтной изоляции соответствует увеличению интенсивности частичных разрядов в 4 – 8 раз.

Временной интервал «4» соответствует фазе, когда дефекты изоляции уже начинают развиваться «лавинообразно». Они уже настолько развились «в ширину», что имеются предпосылки для перехода на другой уровень деградации изоляции. Например, дорожки науглероживания изоляции по поверхности, называемые «треками», имеют настолько большую длину, что токи по ним интенсивно начинают возрастать. В результате дорожки начинают расширяться и углубляться еще больше, активизируя процесс общей деградации изоляции.

Интервал времени «5» начинается в тот момент времени, когда интенсивность частичных разрядов начинает превышать допустимое значение. Практически всегда, если не принимать специальных мер по устранению имеющихся дефектов в изоляции, работа высоковольтного оборудования на этом участке заканчивается аварийно.

Качественно кривая на рисунке «П.1.8.» справедлива для любого высоковольтного оборудования. Количественные параметры интервалов времени, их длительность и значения интенсивности частичных разрядов имеют большие отличия для различных типов и марок высоковольтного оборудования. Даже одинаковое оборудование, но имеющее разные годы выпуска, могут иметь допустимые значения интенсивности частичных разрядов, различающиеся в несколько раз. Обычно этот вопрос решается на основании скорости изменения интенсивности частичных разрядов. Чем быстрее растет интенсивность, тем более опасными являются эти разряды для изоляции контролируемого оборудования.

П.1.3.4. Связь интенсивности частичных разрядов с параметрами окружающей среды и режимами работы оборудования.

Перед выявлением тенденций в изменении интенсивности частичных разрядов во времени необходимо убедиться, что эти изменения не связаны с режимом работы высоковольтного оборудования. Для этого необходимо попробовать выявить связь параметров разрядов с «внешними» параметрами, значения которых необходимо фиксировать при каждом проведенном измерении.

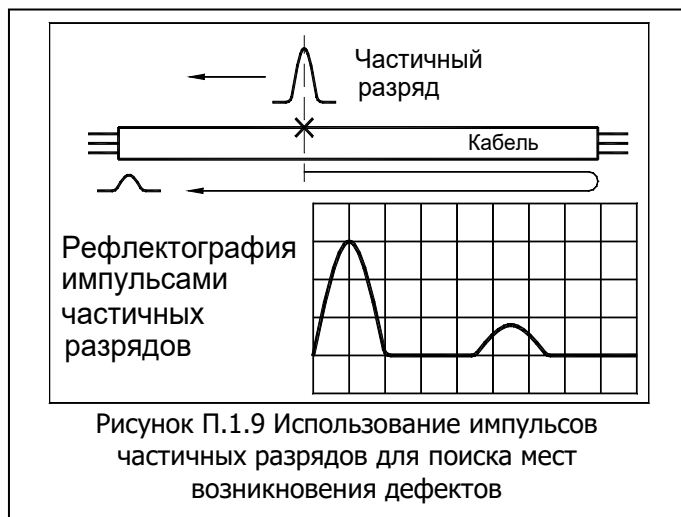
Важными являются следующие параметры:

- Влажность и температура окружающей среды. Особенно это важно при проведении измерений частичных разрядов в трансформаторах.
- Параметры теплоносителя в системах охлаждения генераторов. Например, при увеличении количества водорода в системе охлаждения генератора может резко измениться уровень частичных разрядов в несколько раз. Использование водорода вместо воздуха резко снижает интенсивность частичных разрядов.
- Напряжение питающей сети, которое изменяется в значительных пределах, может также повлиять на уровень частичных разрядов. Увеличение напряжения увеличивает интенсивность импульсов.
- Рабочая температура статора электродвигателя или генератора. Интересным является то, что в зависимости от типа изоляции может иметь место положительный и отрицательный коэффициент связи интенсивности частичных разрядов с температурой.
- Нагрузка контролируемого оборудования. Связь здесь, вероятнее всего, определяется внутренним нагревом изоляции. Прямой связи интенсивности частичных разрядов с нагрузкой обычно не удается обнаружить.

П.1.4. Поиск места нахождения дефекта.

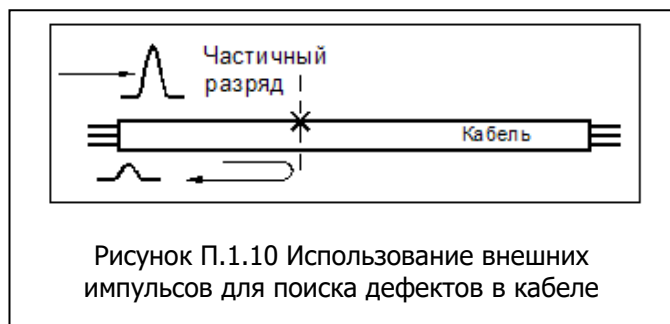
Метод рефлектографии достаточно широко применяется в практике для поиска мест возникновения дефектов в кабельных линиях. Метод достаточно прост и эффективен, но и не лишен некоторых недостатков. Основными недостатками являются два. Во-первых, диагностика может производиться только на отключенной кабельной линии. Во-вторых, диагностируемый дефект в изоляции кабельной линии должен быть «развит» до такой степени, что в его зоне волновые свойства кабельной линии были изменены. Только в этом случае возможно отражение (от зоны диагностируемого дефекта) части энергии тестового импульса.

При помощи устройства «CDM», имеющего в своем составе модуль регистрации формы импульсов частичных разрядов, также возможно проведение локализации места возникновения дефектов в изоляции. Используемый при этом метод «модифицированной» рефлектографии приобретает новые свойства. Отличие данного метода рефлектографии от «стандартного» заключается в том, что в качестве тестирующего импульса используется не импульс от встроенного в прибор генератора, а импульс частичного разряда, возникающего в зоне возникшего дефекта изоляции или даже вне нее.



На рисунке П.1.9. приведено изображение, поясняющее использование в методе рефлектографии импульсов частичных разрядов от дефекта, являющегося источником частичных разрядов. В месте наличия дефекта кабельной линии возникает частичный разряд и, соответственно, электромагнитный импульс. Из зоны возникновения он начнет по кабельной линии распространяться в обе стороны в направлении концевых разделок кабельной линии. С одной стороны, на рисунке это слева, когда импульс достигнет датчика, то он будет зарегистрирован устройством CDM. Приблизившись к правому

концу кабеля, в месте изменения волнового сопротивления, часть энергии импульса частичного разряда отразится, и отраженный импульс меньшей амплитуды будет двигаться в обратном направлении. В тот момент, когда импульс придет к левому концу кабеля, он также будет зарегистрирован устройством «CDM».



Любой внешний импульс, например, перенаведенный из другой кабельной линии, может использоваться в качестве зондирующего импульса, рисунок П.1.10.

В первый момент времени он будет зарегистрирован прибором. Затем, приблизившись к первому месту изменения волнового сопротивления, часть энергии импульса частичного разряда отразится, и отраженный импульс меньшей амплитуды

будет двигаться в обратном направлении. Вторая часть импульса продолжит движение. В тот момент, когда импульс придет к левому концу кабеля, он также будет зарегистрирован устройством «CDM».

Если в момент прихода первого «прямого» импульса начнется регистрация временной формы сигналов, то временная диаграмма по этому каналу будет иметь примерно такой вид, как это показано на рисунке. Основным интересом для диагностики места возникновения дефекта на этой диаграмме имеет временное запаздывание второго отраженного импульса от первичного импульса. Количественно это время было затрачено «отраженным» импульсом на движение от места возникновения к правому концу кабеля и возвращению обратно до зоны возникшего дефекта. Движение от зоны дефекта к левому концу кабеля у каждого импульса занимает одинаковое время, т. е. не изменяет время запаздывания.

Точная диагностика места возникновения дефекта в кабельной линии при практическом применении метода затрудняется по нескольким причинам.

Во-первых, скорость движения электромагнитной волны в кабельной линии различна у кабелей различной марки. Основная причина такого различия – различные свойства диэлектриков и конструктивные отличия кабельных линий. Из-за этого при одинаковом времени

запаздывания прихода «второго импульса» место расположения дефекта в кабельных линиях может изменяться в зависимости от скорости движения импульса.

Во-вторых, реальная рефлектограмма может по форме отличаться от идеальной, приведенной на рисунке. На «полезные» сигналы от дефекта накладываются отражения от соединений, муфт. Для устранения влияния этого эффекта можно при первичной градуировке прибора записывать «опорную» рефлектограмму, снятую классическим способом. По этой рефлектограмме можно уточнить скорость распространения импульсов в данном кабеле и место расположения муфт. Затем в процессе эксплуатации прибора при возникновении реальных импульсов в линии, запускается рефлектометр, и картины распределения импульсов сопоставляются. Зная точные расстояния до мест соединений, можно даже уточнить место дефекта.

В-третьих, измерение временного распределения импульсов в кабельной линии под рабочим напряжением обычно усложняется наличием большого количества помех. Для подавления случайных помех устройства CDM-30 делает несколько измерений, количество которых может достигать нескольких сотен, усредняя полученную картину. После такой процедуры на временной диаграмме останутся только стабильные повторяющиеся импульсы.

В самом общем случае скорость распространения импульсов частичных разрядов можно принять равной один метр за время 6 – 7 наносекунд. При длительности регистрации формы импульса, равной 80 микросекунд, импульс от частичного разряда «пробежит» в кабельной линии расстояние, превышающее 13 километров.

Достоинством данного метода является:

- Возможность диагностики кабельных линий, находящихся под рабочим напряжением;
- Выявление возникающих дефектов изоляции кабельной линии на начальных этапах их развития.

Приложение Б

Диагностика дефектов при помощи экспертной системы «PD-Expert»

Автоматизированная экспертная диагностическая система «PD-Expert» разработана фирмой «DIMRUS» и предназначена для определения типов дефектов, возникших в высоковольтной изоляции различного оборудования, сопровождающихся появлением частичных разрядов.

Для проведения поиска дефектов на основании анализа импульсов частичных разрядов в системе «PD-Expert» должны использоваться импульсы, в которых максимально устранены импульсы помех, так как их наличие значительно снижает достоверность получаемых диагностических заключений.

Все алгоритмы диагностики в системе «PD-Expert» строятся на основании сравнения реально зарегистрированных распределений с распределениями импульсов, соответствующих стандартным образам дефектов в изоляции.

Образы стандартных дефектов хранятся в базе данных системы «PD-Expert» в трех различных видах:

- В виде стандартных распределений типа «PRPD и «PD-Cloud», соответствующих конкретным дефектам.
- В виде диагностических правил, которые позволяют выделять в зарегистрированных импульсах частичных разрядов признаки, соответствующие конкретным дефектам.
- В виде «тестовых замеров» частичных разрядов, которые можно ввести в экспертную систему и получить необходимое заключение. Наличие таких тестовых дефектов поможет специализированному персоналу быстрее научиться самостоятельно диагностировать дефекты и корректировать диагностические правила в системе.

П.2.1. Основные определения и понятия для диагностических правил «PD-Expert»

Для описания диагностических признаков в системе «PD-Expert» принят ряд понятий и их обозначений. Данные обозначения применяются для формализации диагностических правил в «PD-Expert».

При подготовке каждого диагностического правила амплитудно-фазовая плоскость условно разделяется на 4 диагностические зоны. Эти диагностические зоны выбираются на основании особенностей АФ распределения каждого отдельного типа ЧР.

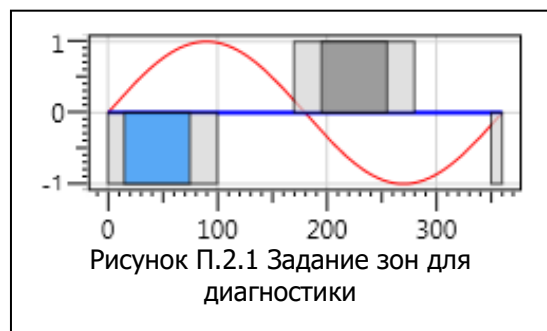
ЗВД1 – фазовая зона возможного дефекта определяет основную зону анализа распределения ЧР на положительной полуволне синусоиды приложенного фазного напряжения.

ЗД1 – фазовая зона внутри ЗВД1 определяет основную зону дефекта, на положительной полуволне синусоиды приложенного фазного напряжения.

ЗВД2 – фазовая зона возможного дефекта определяет основную зону анализа распределения ЧР на отрицательной полуволне синусоиды приложенного фазного напряжения.

ЗД2 – фазовая зона внутри ЗВД1 определяет основную зону дефекта на отрицательной полуволне синусоиды приложенного фазного напряжения.

Каждая из «зон» при создании диагностического правила может быть задана с учетом полярности сигнала: в положительной области (+), в отрицательной области (-) или не зависимо от полярности сигнала (+/-).



Пример задания диагностических зон для ЧР в изоляции. На примере, «зоны» заданы с учетом полярности сигналов (ЗД1 выделена синим, ЗД2-темно-серым, ЗВД1, ЗВД2 - светло-серым).

Таким образом, анализ параметров импульсов и их сравнение может проводиться как для импульсов во всей амплитудно-фазовой плоскости, так и для каждой из 4-х заданных зон в отдельности.

Для каждой выбранной диагностической зоны системой «PD-Expert» автоматически рассчитываются и

могут в дальнейшем быть использованы для описания диагностических признаков следующие параметры:

Амплитуда - максимальная амплитуда импульсов в заданной зоне с частотой повторения 0.2 импульса за период сети.

Мощность - мощность всех импульсов в заданной зоне.

Импульсов в - общее количество импульсов в заданной зоне.

ЦМ – «центр мощности» представляет собой условную точку в выбранной части амплитудно-фазовой плоскости, относительно которой мощность импульсов слева и справа равны, а также снизу и сверху (аналог центра масс в механике).

«Центр мощности» автоматически рассчитывается системой «PD-Expert», и для описания диагностических правил могут использоваться следующие параметры ЦМ:

Амплитуда ЦМ ЗВД1 – значение амплитуды центра мощности зоны ЗВД1 (или ЗД1 и т.д.).

Фаза ЦМ ЗВД1 – значение фазы центра мощности зоны ЗВД1 (или ЗД2 и т.д.).

Аналогично обозначаются: Амплитуда (Фаза)

ЦМ ЗД1, Амплитуда (Фаза) ЦМ ЗВД2, Амплитуда (Фаза) ЦМ ЗД2.

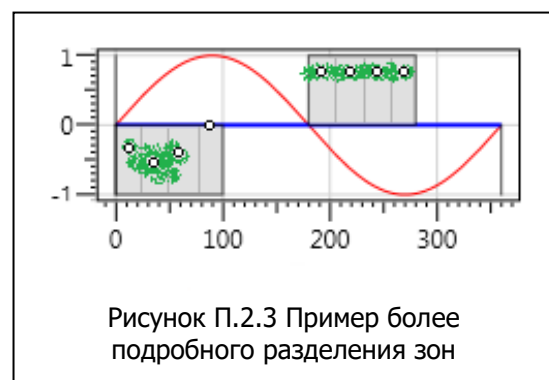


Рисунок П.2.3 Пример более подробного разделения зон

Дополнительно каждая из 4-х заданных зон (ЗВД1, ЗД1, ЗВД2, ЗД2) системой «PD-Expert» условно делится на 4 равные фазовые подзоны в автоматическом режиме и для каждой «четверти зоны» так же считается «центр мощности» (ЦМ). Это очень эффективный способ описания формы распределения импульсов внутри зоны.

Пример разделения ЗВД1 и ЗВД2 на четверти зоны и точки центров мощности каждой четверти.

ЦМ 1 ЗВД1 (ЦМ 1..4 «зона») - обозначение «центра мощности» первой четверти ЗВД1 (или ЗД1, ЗВД2, ЗД2).

П.2.2. Проведение диагностики системой «PD-Expert»

При анализе разрядной активности система «PD-Expert» в первую очередь анализирует частотные параметры импульсов при помощи распределения «PD-Cloud» каждого канала и выделяет группы импульсов со сходными характеристиками. Групп может быть несколько при наличии нескольких источников разрядной активности, либо группы могут отсутствовать полностью при шумовом сигнале с различными параметрами («белый шум»).

Каждая выделенная группа импульсов отображается на амплитудно-фазовой плоскости и анализируется отдельно.

Все диагностические правила имеют ограничения по применению. Эти ограничения касаются необходимого для анализа типа сигнала (HF/UHF) или могут быть применимы только к конкретному типу оборудования. Ограничения задаются для каждого правила при их написании. Последовательно все диагностические правила, которые применимы к данному оборудованию, проверяются на соответствие условий правила. При выполнении всех условий правило считается истинным, рассчитывается достоверность диагностики и мощность сигнала.

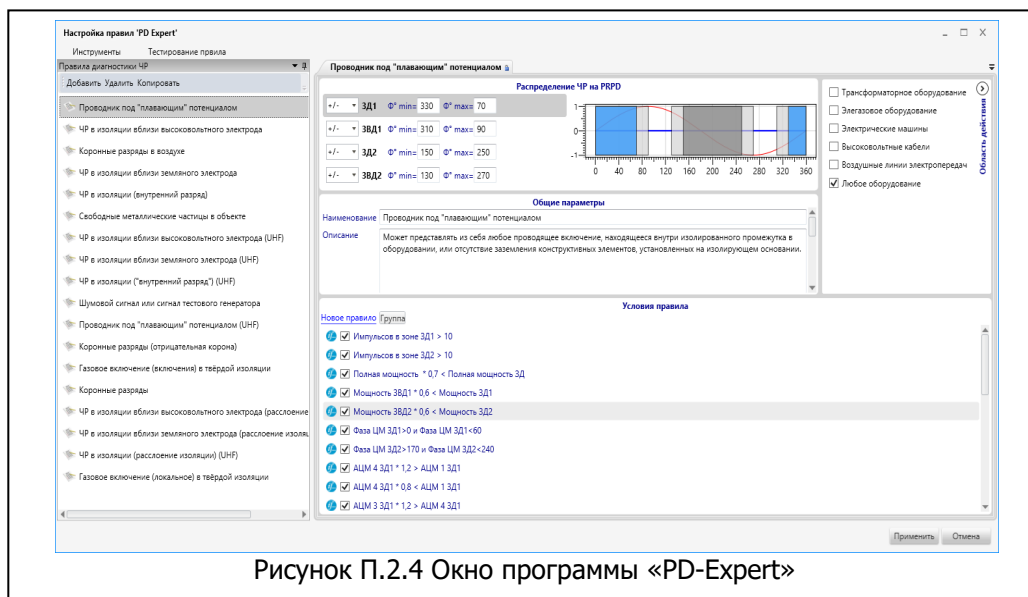


Рисунок П.2.4 Окно программы «PD-Expert»

Системой «PD-Expert» анализируется тип оборудования и в соответствии с ним в отчет о результатах диагностики выводится специализированное заключение с указанием типа ЧР, особенностей проявления в оборудовании, достоверностью и мощностью разрядной активности.

П.2.3. Пример дефекта «Внутренний разряд в изоляции».

Описание и диагностические признаки.

Данный тип ЧР возникает в изоляции (через слой изоляции) без явно выраженных дефектов в том случае, если приложенное напряжение превышает допустимое для данного типа изоляции. Данный тип ЧР характерен для оборудования, находящегося в эксплуатации достаточно длительное время, т.к. процессы общего старения могут приводить к снижению изоляционных характеристик и при длительном воздействии на изоляцию могут приводить к ее постепенному разрушению. Данный тип ЧР характеризуется практически полной симметрией амплитуды и количества импульсов в изоляции относительно нулевой линии. Так же интенсивность частичных разрядов одинакова в двух полупериодах питающей сети. Эта симметрия хорошо прослеживается при анализе положительной и отрицательной полувольт питающего напряжения. Импульсы ЧР имеют различную полярность в двух полупериодах питающей сети.

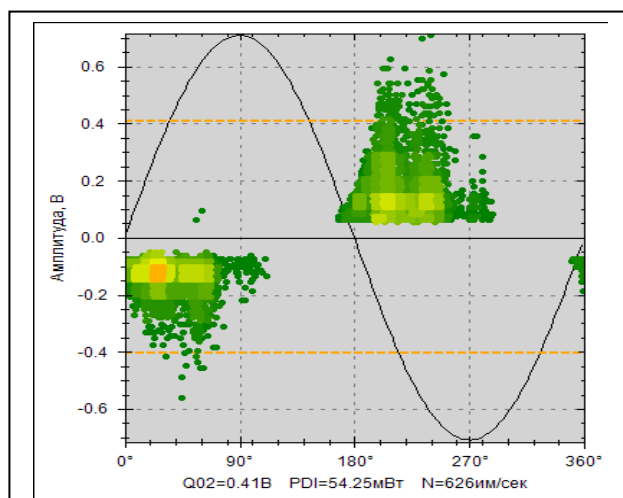


Рисунок П.2.5 Распределение ЧР (PRPD) при дефекте «Внутренний разряд в изоляции»

С физической точки зрения полная симметричность абсолютно понятна. Разрядные процессы абсолютно аналогичны при приложенном напряжении различной полярности и, соответственно, имеют сходную амплитуду и интенсивность.

На амплитудно-фазовой плоскости все импульсы сосредоточены в зонах нарастания амплитуды питающего напряжения. В зонах спада амплитуды питающего напряжения импульсы практически полностью отсутствуют. Характерные зоны анализа дефекта (ЗВД) располагаются в двух симметричных угловых зонах напряжения питающей сети: $350 \div 100$ градусов для положительного полупериода и $170 \div 280$ градусов для отрицательного.

Максимальную амплитуду и интенсивность частичные разряды имеют в

угловых зонах вблизи 45 и 225 градусов. В этих угловых зонах напряжение питающей сети еще не достигло максимума, но скорость его нарастания существенна.

В обе стороны относительно максимальной амплитуды на каждом полупериоде импульсы располагаются симметрично, и их амплитуда и интенсивность плавно затухают. Амплитуды импульсов на положительном и отрицательном полупериоде близки и в большинстве случаев отличается не более чем на 60%.



Импульсы постоянны и происходят на каждом периоде приложенного напряжения.

Импульсы ЧР данного типа достаточно высокочастотны, хотя имеется некоторый разброс по длительности импульсов в зависимости от амплитуды.

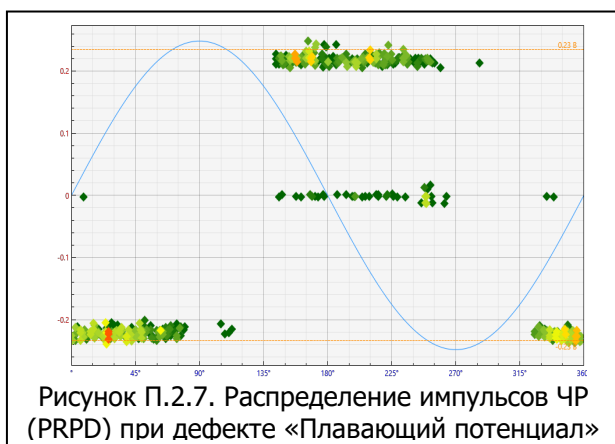
Особенности проявления в различном оборудовании.

ЧР данного типа характерны для любого типа высоковольтного оборудования. В процессе эксплуатации могут длительное время присутствовать в оборудовании без разрушения изоляции, так и приводить к постепенному разрушению изоляции в зоне ЧР. Важно контролировать временное изменение (тренд) интенсивности ЧР, который характеризует происходящие изменения.

П.2.4. Пример дефекта «Проводник под «плавающим потенциалом»

Описание и диагностические признаки.

Плавающим потенциалом в физике называют потенциал тела, когда суммарный ток на него равен нулю. При нахождении проводящего тела в переменном электрическом поле при приложенном напряжении положительной полярности проводящий элемент заряжается за счет токов ЧР и, соответственно, при смене полярности – разряжается. В результате суммарный ток через элемент под плавающим потенциалом равен нулю.



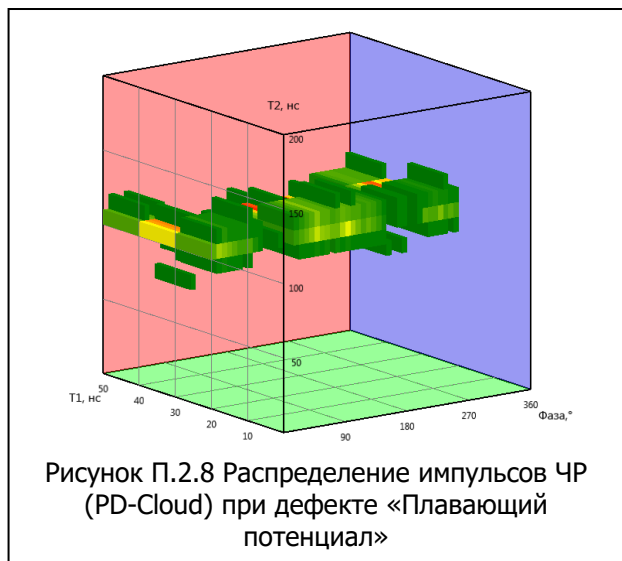
Импульсы ЧР появляются в момент, как только разность потенциалов между проводником и электродом достигает пробивного значения. В результате импульса проводящий элемент заряжается, и следующий импульс произойдет через интервал времени, когда разность потенциалов снова станет достаточной для разряда. Импульсы происходят через фиксированные промежутки времени и близкой амплитуды. Как следствие, важным отличительным признаком дефекта проводник под «плавающим потенциалом» является то, что амплитуда импульсов частичных разрядов практически везде одинакова, вне зависимости от

фазовой зоны питающего напряжения.

Характерные зоны анализа дефекта (ЗВД) располагаются в двух симметричных угловых зонах напряжения питающей сети: $300 \div 90$ градусов и $120 \div 270$ градусов для двух полупериодов приложенного напряжения.

Импульсы постоянны и происходят на каждом полупериоде приложенного напряжения.

Но если посмотреть подробнее несколько периодов, то можно увидеть особенность «плавающего потенциала» - импульсы от периода к периоду имеют фиксированный интервал времени от импульса к импульсу.



Кроме постоянства амплитуд на полупериодах приложенного напряжения, очень важной особенностью «плавающего потенциала» является равенство положительных и отрицательных суммарных токов, а следовательно, и равенство мощностей положительных и отрицательных импульсов.

Амплитуда импульсов и ширина фазового окна «плавающего потенциала» в каждом конкретном случае различна и зависит от расстояния между электродом и проводящим элементом, а также от изоляции между ними. Например, при небольшом расстоянии между электродом и проводником разряды будут возникать уже при незначительной разности потенциалов, будут иметь небольшую амплитуду,

но их будет значительное количество. Количество импульсов зависит от того, какая разность потенциалов необходима для разряда. При аналогичной изоляции в случае увеличения расстояния между электродом и проводником импульсы будут большей амплитуды, и их будет меньшее количество.

Характерной особенностью импульсов данного типа является высокая собственная частота импульса и достаточно длительное время затухания.

Эта особенность хорошо видна на «PD-Cloud». Время затухания импульсов (T2) в данном примере составляет порядка 100нс. Импульсы имеют хорошую повторяемость и группируются в достаточно четкую группу (облако). В результате этой особенности импульсы плавающего потенциала обычно достаточно легко выделяются на «PD-Cloud» от других типов и сигнала помехи.

Особенности проявления для различного оборудования.

В реальных условиях в качестве проводника с плавающим потенциалом может быть любое проводящее включение или экран, находящееся внутри изоляционного промежутка в оборудовании. Это может быть металлический конструктивный элемент, установленный на изолирующем основании, не подключенный ни к «земле» оборудования, ни к высокому напряжению. Это может быть полупроводящий слой в изоляции, также никуда не подключенный, предназначенный для выравнивания потенциалов, но выполненный не совсем корректно.

В зависимости от места возникновения дефекта типа проводник под «плавающим потенциалом», его опасность для дальнейшей эксплуатации изоляции очень различается. В большинстве случаев оборудование с таким типом дефекта может работать долго и надежно.

Вследствие длительного времени затухания и значительной амплитуды импульсы обладают значительной энергией.

Важно понимать, что амплитуда и мощность импульсов проводника под плавающим потенциалом определяет только изоляцию и чаще всего расстояние между проводником и электродом и не имеют никакого диагностического смысла. При нахождении такого проводника (экрана) на открытом воздухе наличие разрядов может значительно различаться при изменении влажности воздуха. И даже в случае дождя может произойти «заземление» проводника и разряды такого типа отсутствовать.

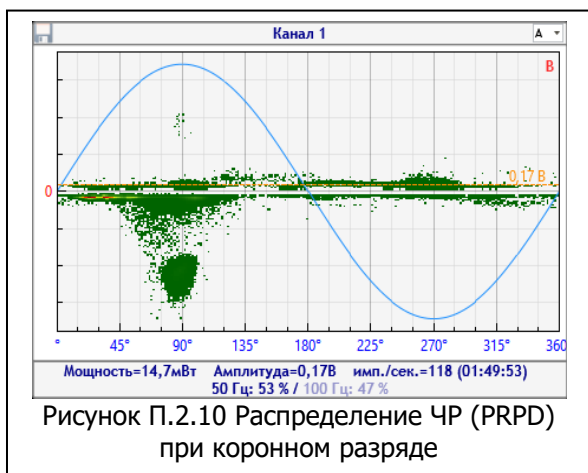
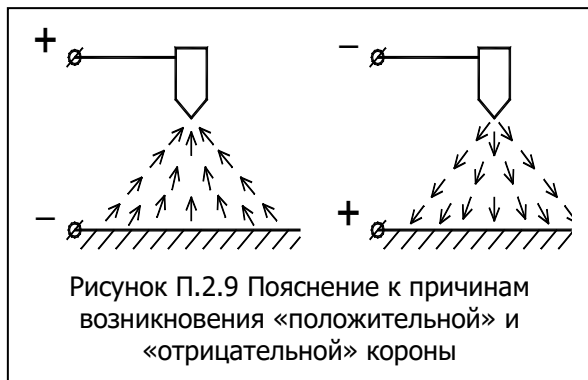
Наиболее опасным можно считать появление разрядов данного типа в кабельных муфтах в случае отсутствия качественного заземления внешнего экрана муфты.

Так же плавающий потенциал может быть зафиксирован и внутри бака трансформатора в случае нарушения необходимого заземления конструктивных элементов трансформатора или в случае повреждения изоляции между элементами конструкции внутри бака трансформатора. Данный тип разрядов происходит на элементах конструкции и имеет значительно меньшую степень опасности, чем разряды в изоляции обмоток. Из-за значительной энергии эти импульсы

приводят к разложению трансформаторного масла и появлению водорода, а очень часто и ацетилена, растворенного в трансформаторном масле. В этом случае вопрос о дальнейшей эксплуатации встает очень остро. Трансформаторное оборудование с таким типом разрядов нет необходимости экстренно выводить из эксплуатации. Корректная диагностика типа разрядов и локация источника в этом случае поможет при принятии решения о дальнейшей эксплуатации оборудования.

П.2.5. Пример дефекта «Коронные разряды с высоковольтного электрода».

Описание и диагностические признаки дефекта.



Коронный разряд в высоковольтном оборудовании обычно возникает на воздушном (изоляционном) промежутке типа «игла-плоскость» при приложении высокого напряжения. При различной полярности приложенного напряжения коронные разряды возникают по-разному.

На рисунке условно показан воздушный промежуток между иглой и плоскостью. Игла на нашем упрощенном рисунке имитирует выступ, на котором происходит концентрация силовых линий электромагнитного поля. Этот выступ может быть как на высоковольтном электроде, так и на заземлении. Смысл картины происходящих при этом физических явлений не меняется.

При приложении к игле высокого положительного потенциала в момент положительной полуволны питающего напряжения электроны отрицательные заряды начнут двигаться в пространстве от плоскости к игле к электроду с положительным потенциалом. По мере приближения к игле отдельные электроны будут объединяться в потоки, потоки электронов будут укрупняться, «стекаться как ручьи», создавать в воздухе каналы, которые начнут нагреваться, и по ним будут происходить импульсные разряды со все более увеличивающейся энергией. По мере роста внешнего напряжения потоки электронов будут увеличиваться, а при снижении напряжения потоки электронов будут уменьшаться.

Если в цепь питающего напряжения (к цепи иглы) будет включен прибор, регистрирующий импульсы частичных разрядов, то он покажет достаточно большую интенсивность частичных разрядов в полуволне питающего напряжения, имеющей положительную полярность.

Поскольку вблизи высоковольтного электрода собирается большой объем зарядов, что сопровождается даже нагреванием каналов протекания электронов, энергия коронных разрядов обычно значительна.

При приложении к игле отрицательного внешнего потенциала (в момент воздействия отрицательной полуволны питающего напряжения), как это показано на втором рисунке, электроны начнут двигаться в обратном направлении. Это движение будет происходить от иглы к плоскости отрицательных зарядов к электроду с положительным потенциалом. По мере

удаления электронов от иглы будет происходить процесс «растекания», снижения напряженности движения. Каналы протекания зарядов будут распадаться, охлаждаться, интенсивность движения будет уменьшаться, заряды будут тормозиться. Итоговая интенсивность коронных разрядов будет много меньше, чем в первом случае.

В результате мы будем иметь такую картину распределения частичных разрядов, когда при разных полярностях питающего напряжения интенсивность частичных разрядов будет значительно различаться. На диаграмме амплитудно-фазового распределения импульсов, которая всегда строится для «полной» синусоиды питающей сети, включающей обе полуволны, это будет хорошо видно. Разряды в зоне «+» питающего напряжения будут в десятки раз мощнее, чем разряды в зоне «-».

Особенности проявления для различного оборудования.

Коронные разряды являются не опасными, но из-за своей значительной энергии вносят значительные помехи при измерении ЧР, в особенности на трансформаторном оборудовании.

При измерении частичных разрядов в силовых трансформаторах очень важным для обеспечения эффективной отстройки от коронных разрядов является понимание особенностей возникновения таких разрядов на поверхности изоляторов и в воздухе.

Амплитуда коронных разрядов значительно зависит от влажности окружающего воздуха. В сухую погоду коронных разрядов значительно меньше, но они имеют большую амплитуду. Сухой воздух имеет большую изоляционную прочность и, соответственно, требуется большая энергия для создания разряда в воздухе. При повышенной влажности воздуха коронные разряды меньшей амплитуды, но их количество значительно больше. Из-за значительной энергии коронные разряды можно слышать на ОРУ подстанции – в сухую погоду они «четкие» и «звонкие», а во влажную как «легкое шуршание».

П.2.6. Пример дефекта «Коронные разряды с земляного электрода».

Описание и диагностические признаки дефекта.

Природа коронных разрядов с земляного электрода аналогична описанным выше коронным разрядам с высоковольтного электрода. Отличием является только то, что максимум энергии импульсов сосредоточен вблизи максимума отрицательного напряжения.

Особенности проявления дефекта.

Отрицательная корона встречается в высоковольтном оборудовании значительно реже положительной из-за особенностей конструкции.

П.2.7. Пример «Дефект изоляции вблизи высоковольтного электрода».

Описание и диагностические признаки дефекта.

Частичные разряды этого типа возникают при наличии дефектов изоляции (пустот, отслоений) вблизи высоковольтного электрода.

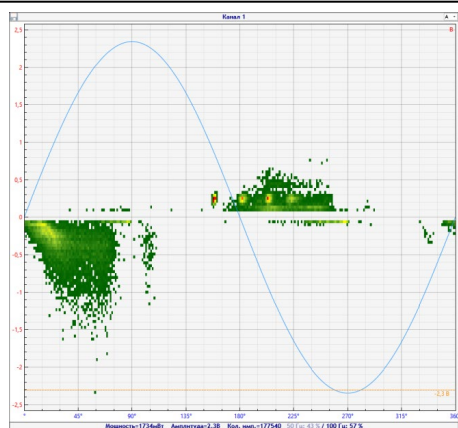


Рисунок П.2.12 Распределение ЧР (PRPD) при дефекте вблизи высоковольтного электрода

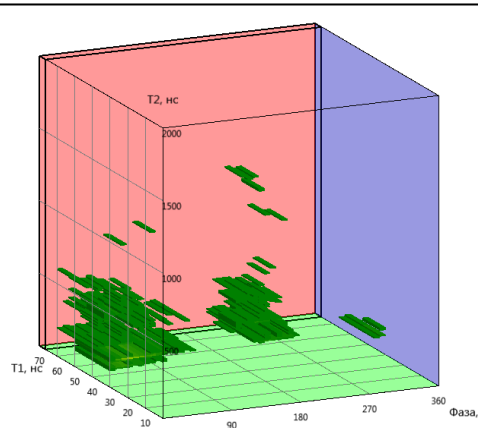


Рисунок П.2.13 Распределение ЧР (PD-Cloud) при дефекте вблизи высоковольтного электрода

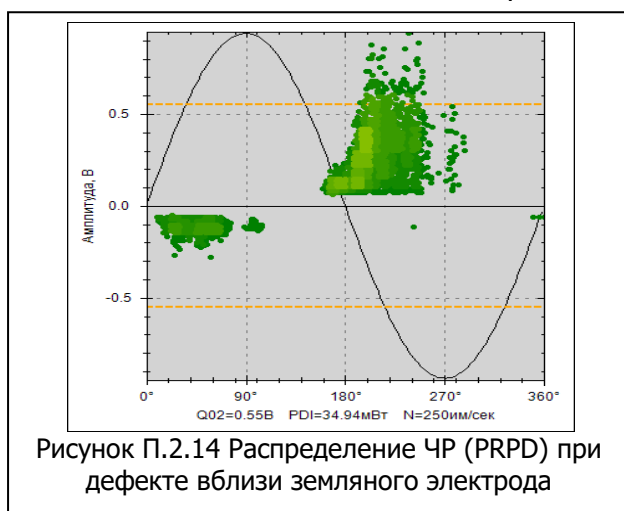
Характерное отличие разрядов этого типа на плоскости PRPD – преобладание амплитуды и интенсивности ЧР на положительной полуволне над амплитудой и интенсивностью ЧР на отрицательной полуволне. Импульсы сосредоточены на участках роста напряжения: от 0 до 90 градусов и от 180 до 270 градусов с максимумами амплитуд в районе 45 и 225 градусов.

Особенности проявления дефекта.

Наличие данного типа ЧР говорит о наличии «явно выраженного» дефекта в изоляции. В процессе эксплуатации оборудования могут вызвать дальнейшее разрушение изоляции в месте дефекта. Следует особенно внимательно относиться к временному изменению (тренду) интенсивности ЧР, который характеризует происходящие изменения.

П.2.8. Пример «Дефект изоляции вблизи земляного электрода»

Описание и диагностические признаки.



Частичные разряды этого типа возникают при наличии дефектов изоляции (пустот, отслоений) вблизи земляного электрода.

Характерное отличие разрядов этого типа на плоскости PRPD – преобладание амплитуды и интенсивности ЧР на отрицательной полуволне. Импульсы сосредоточены на участках роста напряжения: от 0 до 90 градусов и от 180 до 270 градусов с максимумами амплитуд в районе 45 и 225 градусов.

Особенности проявления дефекта.

Наличие данного типа ЧР говорит о наличии «явно выраженного» дефекта в изоляции. В процессе эксплуатации оборудования могут вызвать дальнейшее разрушение изоляции в месте дефекта. Следует особенно внимательно относиться к временному изменению (тренду) интенсивности ЧР, который характеризует происходящие изменения.

П.2.9. Пример дефекта «Поверхностные разряды»

Описание и диагностические признаки.

На амплитудно-фазовой плоскости импульсы имеют либо один четко выраженный максимум в зоне перехода напряжения через 0, либо дополнительный максимум в районе 45 и 225 градусов. Характерные зоны анализа дефекта (ЗВД) располагаются в двух симметричных угловых зонах напряжения питающей сети: $340 \div 90$ градусов для положительного полупериода и $160 \div 270$ градусов для отрицательного.

Особенности проявления дефекта.

Данный тип дефекта имеет высокую степень опасности. Развитый дефект может привести короткому замыканию в оборудовании.

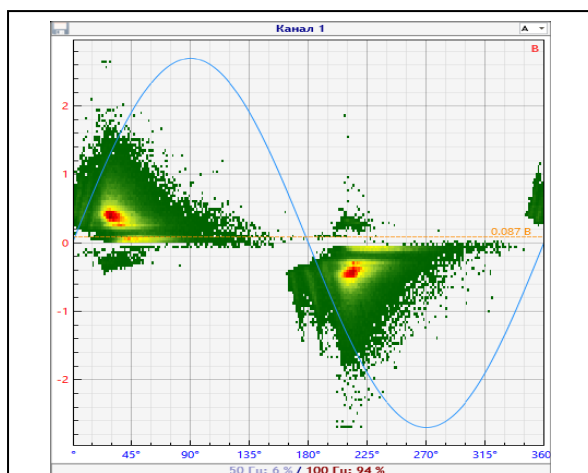


Рисунок П.2.16 Распределение ЧР (PRPD) при дефекте типа «Поверхностные разряды»

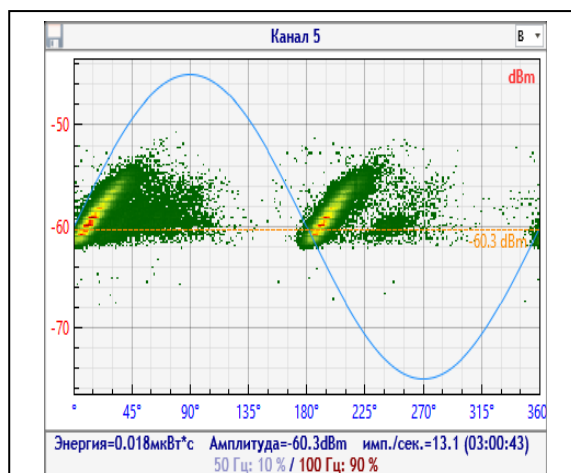


Рисунок П.2.17 Распределение ЧР (PRPD) при дефекте типа «Поверхностные разряды»

Для заметок



Информация о предприятии-изготовителе

ООО «Русов» (г. Пермь)

Разработка и поставка приборов и программного обеспечения по диагностике для различных отраслей промышленности.

614500, Пермский край, деревня Ванюки,
Шоссейный въезд, д. 2, офис 2208

Тел.: (342) 212-23-18, 212-91-93

Web-сайт: <http://www.rusov.com>

e-mail: rusov@rusov.com