

Система мониторинга состояния и диагностики дефектов
изоляции 30 кабельных линий

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

Руководство по эксплуатации

г. Пермь

Оглавление

1.	Введение.....	3
1.1.	Назначение	3
1.2.	Описание прибора «CDM-30».....	4
1.2.1.	Режимы работы светодиодов прибора	5
1.2.2.	Режимы работы реле прибора	6
1.3.	Порядок выполнения работ.....	7
1.4.	Монтаж прибора «CDM-30» на объекте	7
1.5.	Датчики	8
1.5.1.	Датчик SCM-1	9
1.5.2.	Датчик RFCT-1	10
1.5.3.	Датчик RFCT-4	11
1.5.4.	Датчик RFCT-7	11
1.5.5.	Конденсатор связи марки СС	12
1.6.	Калибровка	12
1.7.	Особенности исполнения CDM-15/P	14
2.	Общие вопросы проведения измерений частичных разрядов	15
2.1.	Параметры частичных разрядов.....	15
2.2.	Алгоритмы работы прибора.....	17
2.2.1.	Анализ параметров частичных разрядов.....	17
2.2.2.	Оценка состояния и диагностика дефектов изоляции по распределению импульсов частичных разрядов	23
2.3.	Рефлектографирование	32
3.	Настройка прибора	35
3.1.	Настройка прибора с помощью переносного пульта управления	35
3.1.1.	Установка параметров прибора.....	35
3.1.2.	Остановка мониторинга	36
3.1.3.	Установка даты	36
3.1.4.	Установка времени	37
3.1.5.	Ввод адреса прибора	37
3.1.6.	Ввод скорости обмена	37
3.2.	Настройка прибора с помощью ПО «СКИ»	37
3.3.	Настройка прибора CDM-15/P на новом месте измерений.....	47

1. Введение

1.1. Назначение

Система «CDM-30» (Cables Diagnostics Monitor) предназначена для постоянного мониторинга технического состояния изоляции до 30 кабельных линий под рабочим напряжением. Определение технического состояния кабельных линий осуществляется на основе регистрации, и анализа интенсивности и распределения импульсов частичных разрядов в изоляции.



Рисунок 1 Внешний вид прибора CDM-30

Измерение производится при помощи специализированных датчиков. Датчик для регистрации частичных разрядов может монтироваться на проводнике заземления экрана кабеля (RFCT-1, RFCT-4, RFCT-7), в разрыве цепи заземления (SCM-1), или же в цепи заземления емкостного датчика (CC). Конкретный тип датчика выбирается исходя из типа и особенностей монтажа кабельных линий.

В системе «CDM-30» реализован набор самых современных средств и методов отстройки от внешних помех. Благодаря встроенной в прибор экспертной системе «PD-Expert», автоматически производится оценка не только уровня частичных разрядов, но и определяется тип и место дефекта в изоляции кабельной линии.

Использование многоканального прибора «CDM-30» позволяет, с одной стороны, снизить затраты на систему диагностики, из расчета на один контролируемый кабель. С другой стороны, это дает возможность эффективно отстраиваться от наводок высокочастотных помех на контролируемый кабель, которые в условиях больших КРУ очень значительны.

Система «CDM-30» может монтироваться на релейном щите, без использования специального защитного корпуса. Если предполагается монтаж системы вне помещения, или в сложных условиях, то необходимо использование защитного шкафа с подогревом.

Все сказанное про прибор «CDM-30», кроме специально отмеченного, справедливо и для приборов «CDM-45», «CDM-15». Главное отличие приборов - количество каналов регистрации частичных разрядов и, следовательно, максимальное количество контролируемых кабелей.



Рисунок 2 Внешний вид прибора CDM-15/P

«CDM-15/P» - отличается от прибора «CDM-15» тем, что прибор «CDM-15/P» предназначен не для постоянного, а для кратковременного мониторинга, поэтому встроен не в монтажный шкаф, а в транспортировочный кейс. В комплекте с ним поставляются датчики и кабели, также упакованные в отдельные кейсы.

1.2. Описание прибора «CDM-30»

Основные технические параметры прибора «CDM-30» приведены в таблице «Технические параметры прибора «CDM-30»:

Таблица 1.1 Технические параметры прибора «CDM-30»

№	Технический параметр	Значение
1.	Количество кабельных линий, контролируемых одним прибором Количество кабельных линий, контролируемых одним прибором CDM-45 Количество кабельных линий, контролируемых одним прибором CDM-15	до 30 до 45 до 15
2.	Рабочее напряжение контролируемых кабельных линий	от 3 кВ и выше
3.	Частотный диапазон регистрируемых импульсов, МГц	0,5 ÷ 10,0
4.	Динамический диапазон входных сигналов прибора, dB	70

5.	Интерфейс связи прибора с компьютером	RS-485 USB Ethernet (многомодовое или одномодовое оптоволокно с разъемом SC)
6.	Объем памяти для хранения архива выполненных измерений ЧР в кабелях, Мб	256
7.	Количество встроенных выходных реле управления (сухой перекидной контакт)	3 (250 В, 6А)
8.	Напряжение питания, Вольт	90-260 В переменного напряжения (50/60 Гц), 120-370 В постоянного напряжения
9.	Допустимый диапазон напряжения на входе внешней синхронизации	5 ÷ 240 В переменного напряжения
10.	Гарантийный срок на прибор и датчики	12 месяцев
11.	Время эксплуатации прибора	не менее 10 лет
12.	Габаритные размеры прибора без монтажного шкафа, мм Габаритные размеры прибора без монтажного шкафа CDM-15 , мм	290 × 215 × 80 290 × 215 × 50
13.	Диапазон рабочих температур, градусов	-40 ÷ +60

1.2.1. Режимы работы светодиодов прибора

Прибор CDM имеет 3 светодиода, описывающих состояние прибора:

1. Диод состояния прибора (Status, зеленый). Горит постоянно при нормальном состоянии прибора. Быстро (примерно 2 раза в секунду) включается / отключается при ошибке или неисправности прибора. Медленно (примерно раз в 2 секунды) включается / отключается во время регистрации замера. Не горит – прибор выключен или неисправен.
2. Диод тревожного состояния (Warning, желтый). Горит постоянно при превышении тревожного порога и недостижении аварийного. При наличии превышения аварийной границы – отключается.
3. Диод аварийного состояния (Alarm, красный). Горит постоянно при превышении контролируемыми параметрами ЧР установленной аварийной границы.

Прибор CDM опционально выпускается в монтажном шкафу с внешней светодиодной индикацией. Светодиоды расположены на двери монтажного шкафа, один светодиод – зеленый и 15 или 30 светодиодов – в зависимости от модификации прибора – красных.

Зеленый светодиод повторяет функциональность светодиода «Status» расположенного на корпусе прибора. Индикация красным светодиодом относится к отдельному каналу прибора – кабелю или фазе кабеля в зависимости от его типа. Красный светодиод внешней индикации имеет 3 режима работы:

1. отключен – состояние изоляции кабеля (фазы) в норме;

2. мерцает – параметры ЧР кабеля (фазы) превысили тревожный порог, но не превысили аварийный;
3. горит постоянно – параметры ЧР кабеля (фазы) превысили аварийный порог.

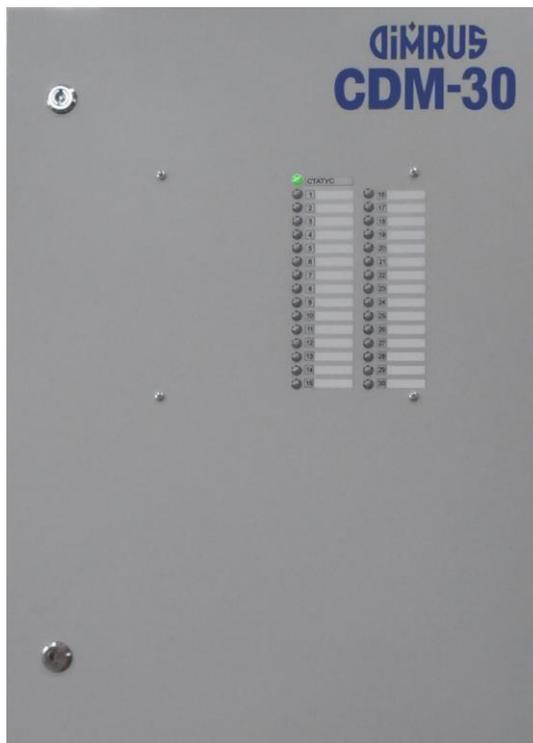


Рисунок 3 CDM-30 со светодиодной индикацией

1.2.2. Режимы работы реле прибора

Прибор «CDM-30» имеет 3 реле:

1. Реле состояния прибора (Status). После включения прибор переходит в режим тестирования и проверки входных каналов. Если все проверки выполнены, и прибор перешел в режим мониторинга включается реле Status. Реле постоянно включено при нормальном режиме работы прибора. При возникновении ошибки и при выключении прибора контакты реле переключаются в исходное положение.
2. Реле тревожного состояния измеряемых параметров (Warning). Реле замыкается при превышении контролируруемыми параметрами порога тревожного состояния и недостижении порога аварийного состояния. Одновременно загорается желтый светодиод на панели прибора. Реле отключается при снижении значений параметров ниже порога тревожного состояния или при превышении порога аварийного состояния.
3. Реле аварийного состояния измеряемых параметров (Alarm). Реле замыкается при превышении порога аварийного состояния. Одновременно загорается красный светодиод на панели прибора. Реле отключается при снижении значения параметра ниже порога.

Прибор «CDM-30» имеет 4 светодиода, описывающих состояние интерфейсов RS-485 (по два светодиода на каждый интерфейс), имеющие диагностическое назначение:

1. Светодиоды не горят, если интерфейс не подключен;
2. Постоянно горит красный светодиод если Data+ и Data- интерфейса подключены наоборот;
3. Промаргивает красный светодиод при запросах и зеленый при ответах прибора при нормальном подключении и наличии пересылок данных.

1.3. Порядок выполнения работ

Проведение подготовительных к эксплуатации работ производится в следующей последовательности:

- Монтаж и подключение прибора согласно Инструкции по монтажу и п.1.4;
- Установка на переносной или стационарный компьютер программы СКИ;
- Настройка связи согласно Руководству пользователя ПО «СКИ» между компьютером и прибором;
- Настройка прибора согласно п.3.2 и схеме КРУ;
- Калибровка измерительных цепей согласно п.1.6 и Инструкции пользователя генератора калибровочных импульсов.

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

1.4. Монтаж прибора «CDM-30» на объекте

Идеология использования прибора «CDM-30» предполагает его монтаж в естественном узле системы снабжения электрической энергией. К данному узлу, или от него, подходит несколько высоковольтных кабельных линий с общим уровнем рабочего напряжения. Такими естественными узлами системы электроснабжения предприятий обычно являются КРУ, различные кабельные сборки, подстанции и т. д.

Количество контролируемых одним прибором кабельных линий не превышает тридцати. На каждом контролируемом кабеле, в разрыве заземляющей жилы, монтируется один датчик марки SCM-1. Если добавление дополнительного соединения недопустимо, возможно использование датчики марок RFCT-1, RFCT-4, RFCT-7. В случаях, когда кабель не имеет заземления брони или подключение к ней невозможно, необходимо использовать конденсаторы связи марок СС-10, СС-15, СС-20 для подключения непосредственно к токоведущей жиле кабеля.

При помощи датчиков прибора 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 6000 метров.

Для эффективной работы прибора «CDM-30» все соединительные коаксиальные линии от первичных датчиков до прибора 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. Допустимая длина коаксиальных кабелей – до 100 метров.

Монтаж прибора производится в месте, куда удобно свести все коаксиальные кабели от первичных датчиков. В это же место необходимо проложить кабель питающего напряжения. При включении прибора в информационную сеть отсюда должен быть проложен кабель внешнего интерфейса, при помощи которого прибор будет подключен к персональному компьютеру. Длина линии связи может достигать 1000 метров, при использовании гальванически изолированного протокола связи RS-485.

1.5. Датчики

Наиболее типичные датчики, используемые с прибором, датчики марок «RFCT-7» и «SCM-1».

Датчик «SCM-1» монтируется в разрыв заземления брони кабеля и на выходе имеет комплексный сигнал: высокочастотные импульсы частичных разрядов и переменный ток, пропорциональный напряжению в линии, для оценки наличия напряжения в ней.

При отсутствии возможности дополнительного соединения или внесения дополнительного сопротивления, в зависимости от необходимого внутреннего диаметра используются датчики марок «RFCT-1», «RFCT-4» или «RFCT-7». Эти датчики имеют на выходе только высокочастотный сигнал.



Внимание! Датчики одеваются только на жилу заземления, так как они имеют изоляцию на напряжение до 500 Вольт.



Если кабель не имеет брони необходимо использовать конденсаторы связи марок СС-10, СС-15, СС-20 для подключения непосредственно к токоведущей жиле кабеля. Выбор конкретной марки датчика зависит от класса напряжения. Датчики СС-10, СС-15 имеют на выходе только высокочастотный сигнал, СС-20 – комплексный.

В связи с наличием в линии двух цепей заземления частичные разряды будут замыкаться по обоим. Что особенно важно, что частичные разряды, возникшие в изоляции рядом с противоположным концом кабельной линии, в основном, будут замыкаться по «второй» цепи заземления, и измерены прибором 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 «Рисунок 4». Он представляет собой разъемный ферритовый сердечник, который надевается на провод и «защелкивается». При этом провод оказывается охваченным кольцевым ферромагнитным сердечником 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.

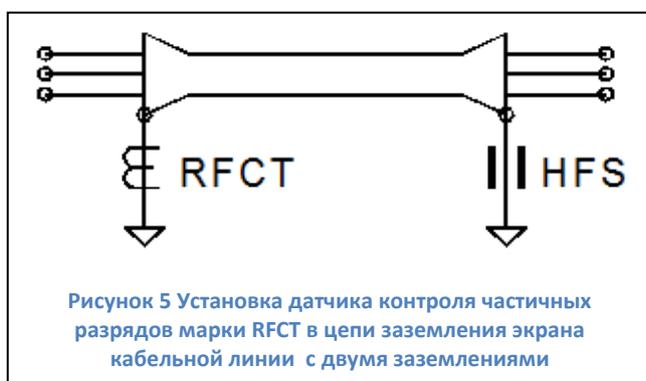


Рисунок 5 Установка датчика контроля частичных разрядов марки RFCT в цепи заземления экрана кабельной линии с двумя заземлениями

Результатом использования сопрессора будет являться то, что несмотря на наличие двух заземлений экрана кабельной линии, все высокочастотные сигналы будут замыкаться на землю через наш датчик частичных разрядов, установленный с одной стороны кабеля. Все импульсы частичных разрядов будут зарегистрированы нашим измерительным прибором.

Такая схема измерения частичных разрядов в кабельной линии, которая имеет заземления экрана с двух сторон кабеля, показана на рисунке «Рисунок 5». В этой схеме, на противоположном конце кабельной линии, использован высокочастотный защитный сопрессор, который обозначен буквами «HFS».

1.5.1. Датчик SCM-1



Рисунок 6 Датчик марки SCM-1

Датчик «SCM-1» предназначен для регистрации частичных разрядов и тока утечки кабельной линии.

Датчик импульсов частичных разрядов марки «SCM-1» конструктивно выполнен так, чтобы можно было легко осуществлять его монтаж в разрыв цепи заземляющего экрана кабеля. В процессе монтажа датчика заземляющая жила (экран) кабельной линии отключается от «земли». На освободившееся место монтируется датчик, а заземляющая шина кабеля подключается ко второму «посадочному месту» датчика. Конструктивное исполнение датчика таково, что он имеет практически нулевое внутреннее сопротивление (не более 1 мОм) и может, без ухудшения своих параметров, пропускать большие токи, возникающие, при определенных условиях, в заземляющих жилах кабельных линий.

Необходимо помнить, что прибор «CDM-30» не имеет канала регистрации наличия напряжения в кабеле, т.е. составляющая промышленной частоты не может быть использована.

1.5.2. Датчик RFCT-1

Этот датчик является неразъемным высокочастотным трансформатором тока.



Рисунок 7 Датчик частичных разрядов марки RFCT-1

Внутренний сердечник датчика выполнен в виде цельного кольца, что приносит некоторые неудобства при монтаже датчика. Поэтому датчики этого типа, обычно, монтируются стационарно.

Центральное отверстие датчика, через которое проходит токоведущая жила, изолирована и допускает надежно изолировать измерительную цепь от напряжений до 500 вольт.

Основное назначение датчика – контроль импульсов от частичных разрядов в заземляющих проводниках и в уравнительных контурах. Чаще всего это заземляющие цепи шинпроводов, экранов, и т. д.

Для специальных условий измерений выпускается модификация датчика марки RFCT-1, заключенная в металлический корпус. В таком виде его можно использовать совместно с конденсаторами связи, «подкладывая» его под корпус конденсатора.

1.5.3. Датчик RFCT-4



Рисунок 8 Датчик частичных разрядов марки RFCT-4

Этот высокочастотный датчик отличается большим внутренним диаметром и разъемной конструкцией. С целью обеспечения безопасности измерительных цепей, из-за большого сечения внутреннего сердечника, во вторичную обмотку датчика включены ограничители перенапряжений.

Датчик предназначен для монтажа на нейтрали трансформатора и шинах заземления оборудования. Корпус датчика разъемный - из 2-х частей, для удобства монтажа на элементах, имеющих жесткое крепление. Внутренний диаметр датчика, через который может проходить токоведущий элемент конструкции контролируемого оборудования, составляет 68 мм.

При монтаже на элементах оборудования, по которым протекает ток промышленной частоты, соединять половинки датчика нужно с изолирующей прокладкой толщиной до 3 мм. Это нужно делать для того, чтобы избежать насыщения сердечника. Чем больше будет ток промышленной частоты, который протекает по элементу конструкции оборудования, на котором смонтирован датчик, тем больше должен быть немагнитный и не проводящий зазор.

Рабочее напряжение на конструкции оборудования, которое допускается в месте установки датчика, по условиям безопасности не может быть больше 500 вольт.

1.5.4. Датчик RFCT-7



Рисунок 9 Датчик частичных разрядов марки RFCT-7

RFCT-7 – это разъемный датчик, с меньшим чем у RFCT-4 внутренним диаметром, но со встроенными изолирующими прокладками, допускающими протекание тока промышленной частоты до 500 Ампер (или 1000, в зависимости от модификации) без насыщения сердечника.

1.5.5. Конденсатор связи марки СС



Рисунок 10 Конденсатор связи марки СС-10 (слева) и СС-20 (справа)

Конденсаторы связи марки СС предназначены для регистрации частичных разрядов в элементах высоковольтного оборудования, находящихся под рабочим напряжением. Это могут быть входные клеммы обмоток статоров электрических машин различного типа, шины КРУ, кабельные линии.

Величина внутренней емкости конденсатора составляет, обычно, 80 пикофард, хотя это значение и не является принципиальным, просто такую емкость имеют большинство конденсаторов, продаваемых на мировом рынке. Наиболее важным параметром конденсатора связи является стабильность его параметров.

Конденсатор связи монтируется на «заземленном» основании, а верхняя точка его подключается к токоведущей линии, в которой предполагается проводить измерения частичных разрядов.

Особенностью использования трансформаторов связи является необходимость монтажа специальных плат или «проходных» датчиков типа RFCT. Если конденсатор просто смонтировать на металлическом заземленном основании, то импульсы частичных разрядов просто замкнутся на землю.

Существуют два способа монтажа конденсаторов связи. В первом случае, прямо под конденсатором, на крепежном болте, устанавливается датчик RFCT-1, заключенный в металлический корпус. Во втором варианте под датчиком монтируется переходная плата с необходимой электроникой, через которую конденсатор соединяется с «землей». В этом случае необходимо устанавливать специальное изолирующее основание.



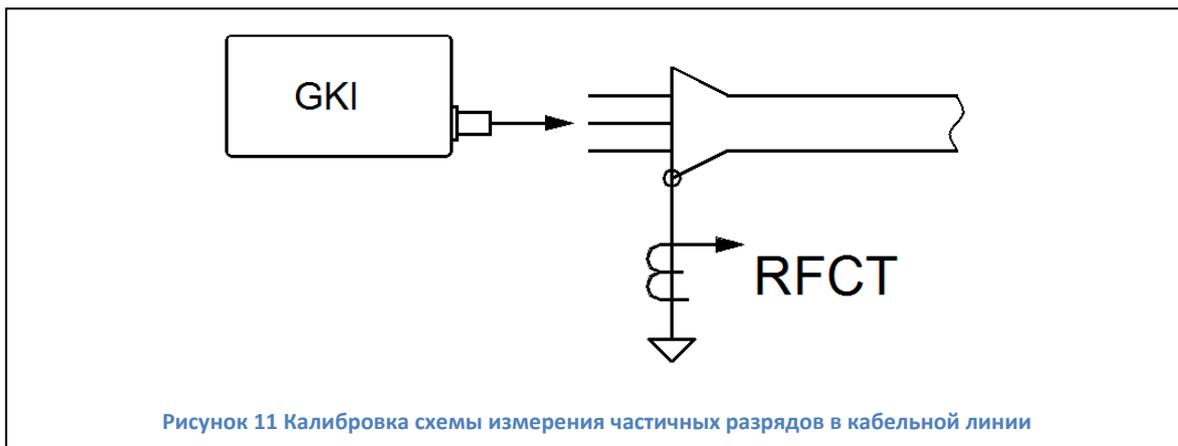
Для максимально эффективной работы прибора необходима установка датчиков не только в ячейках с контролируруемыми кабелями, но и в соседних с ними. На всех заземлениях экрана контролируемых кабельных линий, на которых не установлены датчики, рекомендуем устанавливать фильтр высоких частот типа HFS или PDFilter.

1.6. Калибровка

Калибровка измерительной схемы производится на кабельной линии, отключенной от высокого напряжения. После подключения генератора, кабельная линия должна быть разземлена. Калибровка нужна, для того чтобы прибор мог рассчитать чувствительность канала, уточнить работу алгоритмов дифференциации импульсов.

Для калибровки нужен полностью настроенный прибор и калибровочный генератор, выдающий определенный заряд. Наиболее подходящие генераторы – генераторы марок GKI-1, GKI-3 производства ООО «Димрус».

Наиболее простым способом является «прямое» инжектирование калибровочных импульсов в жилы контролируемого кабеля. Такая схема калибровки показана на рисунке «Рисунок 11».



Импульсы с калибровочного генератора марки GKI-1, или любого другого, подаются в одну, или сразу во все, фазы контролируемой кабельной линии. На основании анализа выходного напряжения датчика марки RFCT, измеренного в мВ, рассчитывается чувствительность измерительной схемы в пКл.

Калибровочный генератор также может быть последовательно подключен с двух сторон контролируемой кабельной линии. Такая двойная калибровка чувствительности измерительной схемы имеет практический смысл. Во-первых, становится видно, что вне зависимости от места возникновения дефекта мы регистрируем частичные разряды при помощи датчика, установленного с одной стороны кабельной линии. Во-вторых, можно определить амплитудный коэффициент затухания импульсов в кабельной линии. Это позволит более правильно определить пороговые значения амплитуд частичных разрядов, соответствующих тревожному и аварийному уровням. Усредненное значение чувствительности в этом случае должно быть рассчитано пользователем.

После успешной калибровки в памяти прибора появится измерение, содержащее опорную рефлектограмму. Коэффициент чувствительности канала изменится автоматически. По введенной длине кабельной линии прибор постарается уточнить коэффициент укорочения. Если рассчитанное прибором значение отличается от введенного пользователем не более чем на 30%, прибор изменит значение коэффициента. Проверить измененные значения можно после запуска функции «Импорт конфигурации» (см. пп. 3.2).

Запуск процедуры калибровки производится с тестового экрана или с компьютера по интерфейсам связи. При этом уточняются характеристики генератора калибровочных импульсов.

1.7. Особенности исполнения CDM-15/P

Основные технические параметры прибора в исполнении «CDM-15/P» приведены в таблице «Таблица 1.2 Технические параметры прибора «CDM-15/P»:

Таблица 1.2 Технические параметры прибора «CDM-15/P»

№	Технический параметр	Значение
1.	Количество кабельных линий, контролируемых одним прибором CDM-15/P	до 15
2.	Рабочее напряжение контролируемых кабельных линий	от 3 кВ и выше
3.	Частотный диапазон регистрируемых импульсов, МГц	0,5 ÷ 10,0
4.	Динамический диапазон входных сигналов прибора, dB	70
5.	Интерфейс связи прибора с компьютером	USB
6.	Объем памяти для хранения архива выполненных измерений ЧР в кабелях, Мб	256
7.	Напряжение питания, Вольт	90-260 В переменного напряжения (50/60 Гц), 120-370 В постоянного напряжения
8.	Допустимый диапазон напряжения на входе внешней синхронизации	5 ÷ 240 В переменного напряжения
9.	Гарантийный срок на прибор и датчики	12 месяцев
10.	Время эксплуатации прибора	не менее 10 лет
11.	Габаритные размеры прибора CDM-15 /P в транспортировочном кейсе, мм	520 × 435 × 230
12.	Диапазон рабочих температур, градусов	-40 ÷ +60

Режим работы светодиодной индикации исполнения CDM-15/P соответствует внешней светодиодной индикации прибора в стационарном исполнении.

Выводы реле и интерфейса RS-485 на лицевой панели прибора отсутствуют.

Для обеспечения работы внешней синхронизации необходимо подключить проводник с напряжением (фаза) к красной клемме синхронизации. Нейтраль подключать необходимости нет. Черная клемма синхронизации изолирована для избежания замыкания при случайной ошибке подключения. Обязательно заземлите прибор при помощи кабеля питания.

2. Общие вопросы проведения измерений частичных разрядов

2.1. 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, разрушает изоляцию, приводя в конечном итоге к ее пробое. Обычно разрушение изоляции под действием частичных разрядов происходит в течение многих месяцев, и даже лет. Таким образом, регистрация частичных разрядов, оценка их мощности и повторяемости, а также локализация места их возникновения, позволяет своевременно выявить развивающиеся повреждения изоляции и принять необходимые меры для их устранения.

Чтобы правильно понимать принципы работы прибора необходимо определить основные термины и интегральные параметры, описывающие частичные разряды в высоковольтном оборудовании.

Все имеющиеся в мире стандарты по ЧР определяют некоторый набор интегральных величин, которые могут рассчитываться или непосредственно измеряться при тесте состояния изоляции. Стандарты разных стран могут различаться в деталях, но, в основном, 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, что бы восстановить равновесие, нарушенное возникновением «внутреннего» импульса ЧР. В этом определении очень важным является то, что мы не знаем параметры реального заряда, например, внутри газового включения, а измеряем (замеряем) реакцию контролируемого высоковольтного объекта схемы на возникший ЧР. Заряд потому и назван «кажущимся», т. к. мы так считаем, не зная истинного значения реального ЧР.

Измеряется кажущийся заряд ЧР в пКл (пико кулонах). Если сложить все заряды, зарегистрированные в оборудовании за одну секунду, то получится ток ЧР – тот ток, который протекает в той цепи, которую контролирует датчик, дополнительно за счет возникновения ЧР. В среднем этот ток является чисто активным и характеризует потери в изоляции из-за возникновения ЧР.

Исторически важной характеристикой является «максимальный измеренный заряд». Почти все изготовители высоковольтного оборудования до сих пор пользуются этой величиной (если вообще чем-то пользуются) 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, ограничимся учетом только тех

ЧР, которые повторяются не менее 10 раз за секунду. В нашем случае, при частоте питающей сети в 50 герц, мы получаем, 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} . Для удобства пользования будем делать это одинаково для любой частоты сети, 50 и 60 герц.

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:

$$P = \frac{1}{T} \times \sum_1^m Q_i \times V_i$$

где:

P – мощность разрядов, Ватт,

T – время наблюдения, секунд,

m – число наблюденных импульсов за время T , и

$Q_i V_i$ – энергия i -го импульса

Вполне очевидно, что, базирясь 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, что бы 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} , прибор «CDM-30» рассчитывает **тренд** или **скорость роста** (во сколько раз изменится параметр за год, PDI_t и Q_{02t} соответственно) и **изменение** (процент от предыдущего уровня, PDI_j и Q_{02j}). Все эти параметры также могут быть использованы для оценки состояния любого высоковольтного оборудования.

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

2.2. Алгоритмы работы прибора

Важнейшей задачей диагностики состояния изоляции по параметрам частичных разрядов является проведение качественной оценки. Она имеет своей целью дифференцировать возможный тип дефекта, возникшего в изоляции, а в идеале и локализовать и место его возникновения.

Все известные методы и способы диагностики состояния изоляции можно объединить в две группы.

К первой группе относятся методы, базирующиеся на анализе параметров отдельных импульсов частичных разрядов. В них анализируются амплитудные и частотные параметры зарегистрированных импульсов, а также 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.

Ко второй группе относятся методы, базирующиеся на анализе амплитудного и амплитудно – фазового распределения зарегистрированных импульсов частичных разрядов. Целью этих методов является определение типов имеющихся дефектов и оценка влияния дефектов на остаточный ресурс высоковольтной изоляции. Это методы наиболее высокого уровня диагностики, относящиеся к экспертным системам, применяемые для получения конечных заключений о состоянии изоляции.

2.2.1. Анализ параметров частичных разрядов

При помощи методов данной группы 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.

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 импульсов, отвечающих определенным требованиям. Весь процесс оценки параметров импульсов происходит в приборе в режиме реального времени, в соответствии с заложенными в техническую часть прибора 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 просматриванием осциллограмм, а диагностикой состояния изоляции в прямом ее понимании.

Рассмотрим наиболее важные способы анализа параметров частичных разрядов.

2.2.1.1. 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 о 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.

Заключая 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. 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 высокочастотного 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 статор крупной электрической машины, для контроля ЧР в которых наиболее часто используют высокочастотные конденсаторы связи, подключаемые к внешним клеммам обмотки. Если частичный разряд возникает вблизи внешних клемм обмотки, то проблем с регистрацией импульса нет. Если же частичный разряд такой же интенсивности возникнет на «противоположной» части обмотки, вблизи нейтральной точки обмотки, то этот импульс будет иметь в зоне нашего датчика существенно пониженную амплитуду. Кроме того, частота импульса, за счет затухания внутри обмотки, 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 обмотки, прибором будет интерпретироваться как импульсы различной интенсивности, со всеми вытекающими отсюда последствиями.

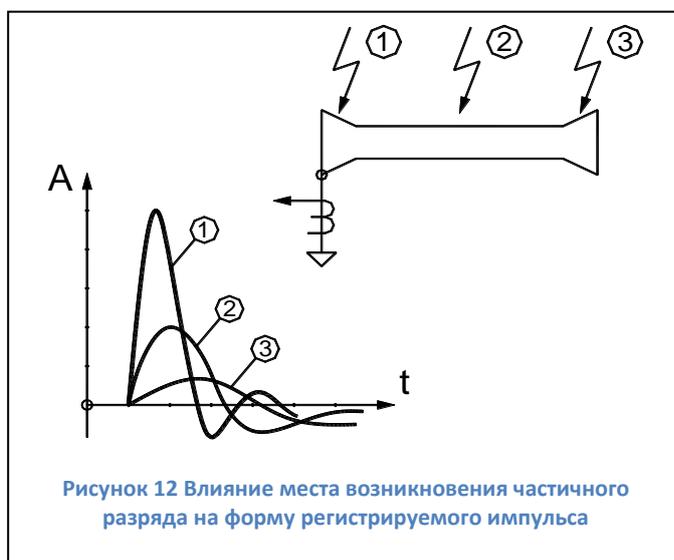


Рисунок 12 Влияние места возникновения частичного разряда на форму регистрируемого импульса

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 «Рисунок

12». 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 калибровки измерительной цепи при помощи калибровочного генератора. Для этого необходимо калибровочный импульс инжектировать, поочередно, в начало обмотки, и в нейтральную точку обмотки статора, и определять при этом чувствительность измерительной схемы. При этом можно достаточно точно определить количественное значение коэффициента затухания частичных разрядов в обмотке.

Получив реальное значение коэффициента затухания импульсов в обмотке, можно принять решение, допустима ли такая погрешность измерения частичных разрядов (разница в амплитудах и есть погрешность измерения). Если разница в чувствительности составит до 20 – 30 процентов, то с такой погрешностью, наверное, можно согласиться. Если чувствительности будут различаться в несколько раз, то для практических измерений это недопустимо. Ценность таких измерений невелика.

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». В наибольшей мере информативны датчики серии RFCT (Radio Frequency Current Transformer), которые работают в достаточно широком диапазоне частот и позволяют контролировать частичные разряды во всем объеме высоковольтного оборудования. Конденсаторы связи марки СС (Coupling Capacitors) выделяют импульсы в более высокочастотном диапазоне. Поэтому зона их чувствительности существенно меньше.

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. Наиболее опасными, и трудно устранимыми, в трансформаторном оборудовании 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 мегагерц. Есть работы, в которых зона максимальных помех определена в частотном диапазоне от 5 до 20 мегагерц. Есть информация

о том, что для того, чтобы отстроиться от помех, нужно проводить измерения в диапазоне частот, превышающем 200 мегагерц.

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 выше изложенного, 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 1 до 10 мегагерц. Чуть с меньшей чувствительностью они регистрируют импульсы с частотой от 0,5 до 20 мегагерц. 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.

2.2.1.2. 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 марки DB, установленными на ПИН 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 ослабится. 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 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.

Применительно к многоканальной регистрации сигналов частичных разрядов, когда на контролируемом объекте устанавливается несколько датчиков, необходимо определять коэффициенты перенаводки сигнала из одной точки в каждый измерительный канал. Экспериментально определяемые коэффициенты перенаводки с канала на канал проще всего представлять в виде матрицы перенаводки. При помощи этой матрицы производится выявление места возникновения дефекта. Заполнение матриц перенаводки, в процессе проведения калибровки входных цепей с использованием калибровочного генератора, предусмотрено в приборе «CDM-30» в автоматизированном режиме.

В результате использования матриц перенаводки, сравнивая амплитуды импульсов с различных датчиков, пользователь может более точно выявлять место расположения дефекта изоляции в контролируемом оборудовании.

2.2.1.3. 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 одновременность 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.

2.2.1.4. 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.

2.2.2. 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.

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

2.2.2.1. 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

«Рисунок 13». По горизонтальной оси графика отложены значения кажущихся зарядов зарегистрированных импульсов (или амплитуды импульсов в милливольтках), а по вертикальной оси отложены количество импульсов.



Рисунок 13 Амплитудно - частотное распределение импульсов частичных разрядов

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 на рисунке амплитудно - частотном графике, рассматривается распределение импульсов, сгруппированных по принципу равенства амплитуд.

На этом рисунке показаны два, несколько различающихся графика. График 1 соответствует интегральному распределению импульсов частичных разрядов, когда происходит суммирование импульсов по мере увеличения порогового значения амплитуды. Самую малую амплитуду «преодолели» 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.

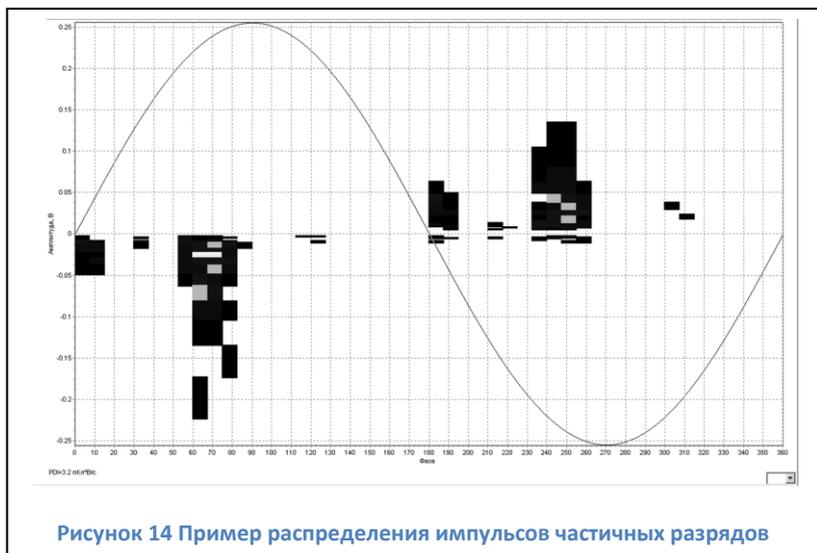


Рисунок 14 Пример распределения импульсов частичных разрядов

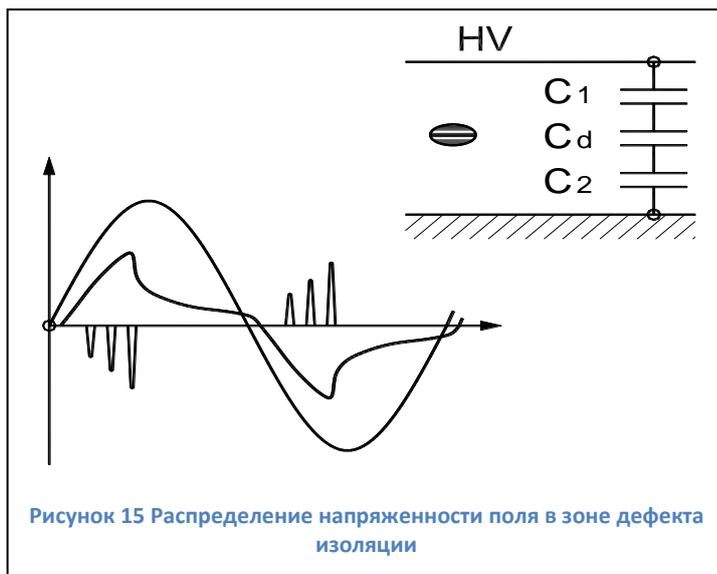
Более информативным является амплитудно – фазовое (частотное) представление распределения импульсов частичных разрядов. Пример такого распределения показан на рисунке «Рисунок 14».

На таком графике показывается распределение импульсов по амплитуде, фазовому углу напряжения питающей 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, относительно амплитудного значения, уменьшается. На рисунке «Рисунок 15» приведена информация, при помощи которой мы попытаемся, хотя бы поверхностно, проанализировать это сложное физическое явление.

На рисунке, справа вверху 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 близи 90 градусов 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 «Рисунок 16» 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

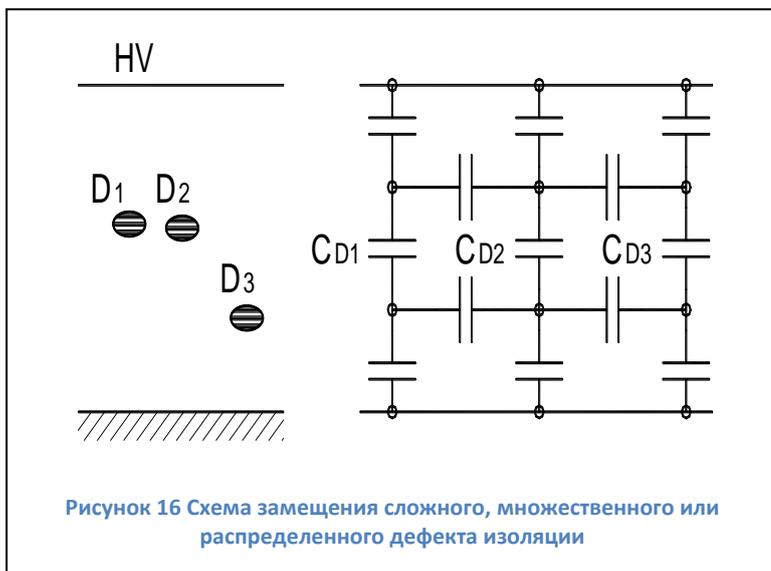


Рисунок 16 Схема замещения сложного, множественного или распределенного дефекта изоляции

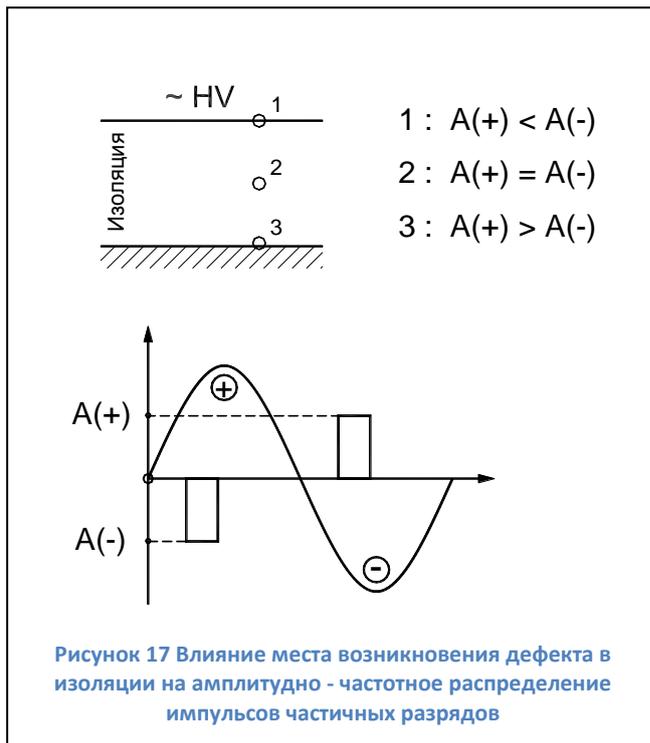
более сложной. Появляются горизонтальные емкостные связи между локальными зонами дефектов, обусловленные взаимным влиянием дефектов друг на друга. При наличии нескольких дефектных зон возникновение частичного разряда в одной дефектной зоне, практически всегда приводит к перераспределению напряженностей 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 «Рисунок 17», 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 «Рисунок 15», изменению соотношения

величин емкостей C1 и C2. 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 «Рисунок 17».

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, элемент под «плавающим» потенциалом, 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 пояснению к рисунку «Рисунок 17», 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.

2.2.2.2. 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.

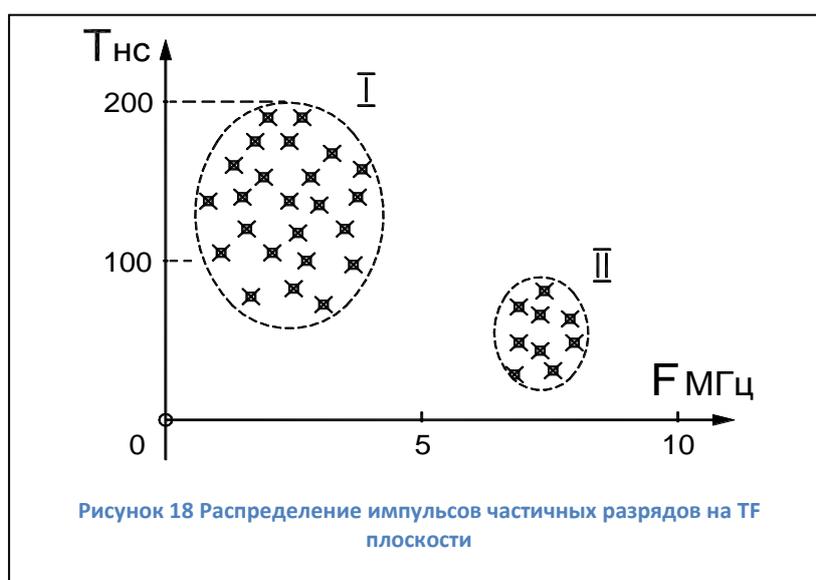
Это значение умножается на два, и получается период импульса частичного разряда, по которому определяется кажущаяся частота. Понятие «кажущейся частоты» здесь введено по той простой причине, что мы имеем импульсы, различающиеся длительностью переднего и заднего фронтов. Кроме того, эти импульсы являются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

данный метод перенесен в раздел общего анализа зарегистрированных 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.

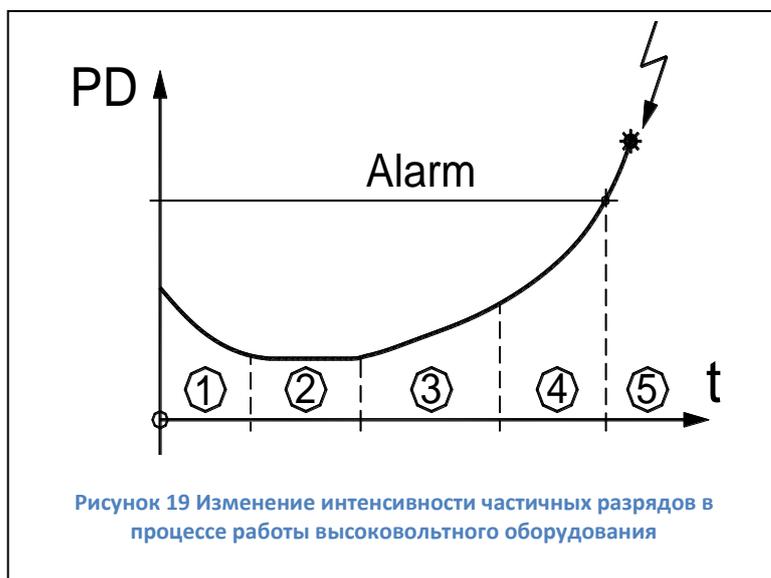
Импульсы одной природы и места возникновения, будут сосредоточены на TF плоскости в одной локальной зоне. Импульсы другой природы и места возникновения, как и импульсы помех, будут сосредотачиваться в других зонах. Анализ распределения импульсов на плоскости позволит локализовать их параметры. Пример такой локализации импульсов приведен на рисунке «Рисунок 18».

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 «TFA» диаграммах (Times Frequency Amplitude). Эти диаграммы позволяют еще более эффективно разделять зарегистрированные импульсы частичных разрядов по природе и месту их возникновения, отделять их от помех.

2.2.2.3. Анализ изменения интенсивности частичных разрядов в процессе эксплуатации оборудования

На рисунке «Рисунок 19» 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 «Рисунок 19» 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.

2.2.2.4. 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.

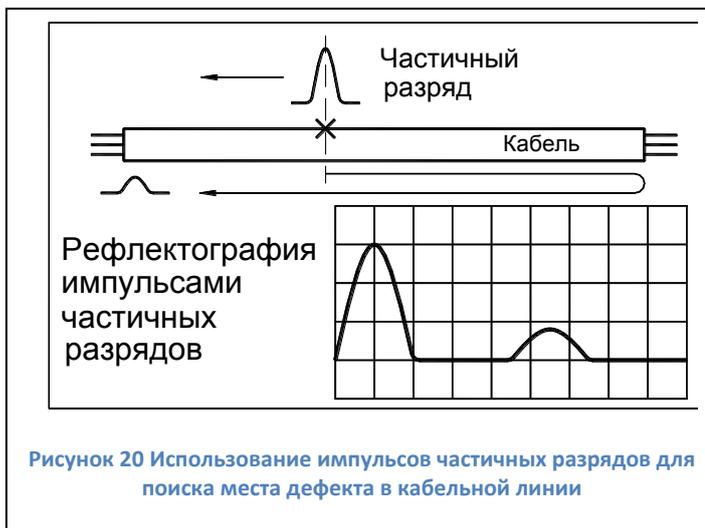
- Рабочая температура статора электродвигателя или генератора. Интересным является то, что в зависимости от типа изоляции может иметь место положительный и отрицательный коэффициент связи интенсивности частичных разрядов с температурой.

- Нагрузка контролируемого оборудования. Связь здесь, вероятнее всего, определяется внутренним нагревом изоляции, прямой связи интенсивности частичных разрядов с нагрузкой, обычно не удается обнаружить.

2.3. Рефлектографирование

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 прибора «CDM-30», 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 ее.



На рисунке (Рисунок 20) приведен рисунок, поясняющий 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 прибором «CDM-30». 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 прибором «CDM-30».



Любой внешний импульс, например перенаведенный из другой кабельной линии, может использоваться в качестве зондирующего импульса (Рисунок 21).

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 прибором «CDM-30».

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 (Рисунок 20). Основной интерес, 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 (Рисунок 20). На «полезные» сигналы от дефекта накладываются отражения от соединений, муфт. Для устранения влияния этого эффекта можно, при первичной калибровке 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 прибор «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 «пробегаёт» в кабельной линии расстояние, превышающее 13 километров. Таким образом, учитывая двукратный пробег импульсом кабельной линии, прибором «CDM» может диагностироваться кабель общей длиной до шести километров.

Достоинством данного метода является:

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

3. Настройка прибора

3.1. Настройка прибора с помощью переносного пульта управления

Для оперативного контроля состояния прибора, его показаний, и проведения пуско-наладки, в комплект поставки может быть включен переносной пульт управления.



Рисунок 22 Внешний вид переносного пульта управления

Прибор включается сразу после подачи питания. На экране переносного пульта управления (далее по тексту – пульт), подключаемого через разъем Terminal, появляется заставка с наименованием прибора, происходит инициализация компонентов прибора и осуществляется их тестирование. Если при загрузке и тестировании модуля выявлены неполадки, на пульте отображается информация об ошибке.

Далее прибор переходит в режим мониторинга.

3.1.1. Установка параметров прибора

Все параметры при первом включении модуля устанавливаются по умолчанию. Но для корректной работы прибора требуется правильная установка текущих даты/времени и других параметров измерения.

С помощью подключаемого пульта можно установить только часть из них, остальные устанавливаются из программы «СКИ».

Установки сохраняются в памяти модуля до тех пор, пока не будет выполнена новая корректировка. Отключение напряжения питания не приводит к потере установок модуля.

Для входа в режим корректировки настроек модуля необходимо нажать на подключаемом пульте клавишу «Mod». На дисплее пульта появляется надпись «Password» и предлагается ввести пароль, состоящий из четырех цифр. Пароль вводится при помощи стрелок на индикаторе, «Ent» -подтверждение ввода. Введите пароль **5421** в поле ввода.



Внимание! Пароль жестко «зашит» в модуль и не корректируется.

После ввода пароля необходимо примерно 20 секунд ожидать входа в режим корректировки установок модуля.



Внимание! Если в течение времени больше, чем 30 секунд модуль находится в режиме ожидания – вы неверно ввели пароль. Нажмите любую клавишу на пульте и исправьте пароль.

В течение этого режима нажатие на любую клавишу отменяет вход в режим установок.

После правильно введенного пароля на подключаемом пульте появляется первый корректируемый параметр (корректировка даты) Переключение между параметрами установок производится при помощи "▲", "▶" на подключаемом пульте. Выбор параметра для корректировки или его корректировка происходит при нажатии клавиши «Mod». Выход из режима корректировки установок модуля при нажатии «Esc» на подключаемой пульте.

Параметры системы изменяемые с подключаемого пульта:

- Пуск или остановка мониторинга;
- Время – установка времени модуля;
- Дата – установка даты модуля;
- Device Number – установка адреса модуля в сети MODBUS (порт "RS-485");
- Baud rate – установка скорости передачи данные для порта "RS-485";
- Protocol – установка протокола обмена данными для порта "RS-485".

3.1.2. Остановка мониторинга

Для остановки мониторинга выберите пункт меню "Monitoring", нажмите кнопку "Ent", выберите с помощью кнопки "Ent" значение "stopped" и нажмите кнопку "Mem", отказ от изменения текущего режима – кнопка "Esc". Для запуска мониторинга выполните ту же процедуру, но выберите значение "work".



Рисунок 23 Остановка мониторинга

3.1.3. Установка даты

В меню прибора выберите пункт «Set date»: слева будут изображены часы с текущим временем, а в центре – текущая дата (Рисунок 24). Нажмите кнопку "Ent" для смены даты. Активная на текущий момент цифра подчеркнута. Кнопками "▲", "▼" меняйте значение активной цифры; смена активной цифры производится кнопками "▲", "▶". По нажатии клавиши "Ent" происходит установка введенной даты. Кнопка "Esc" – отказ от смены даты. Дата в приборе отображается в английском формате – MM/DD/YYYY.



Рисунок 24 Ввод даты

3.1.4. Установка времени

В меню прибора выберите пункт «Set time»: слева будут изображены часы с текущим временем, а в центре – текущее время в цифровом формате (Рисунок 25). Нажмите кнопку "Ent" для смены времени. Время вводится аналогично дате.



Рисунок 25 Установка времени

3.1.5. Ввод адреса прибора

Для обмена по протоколам RS232/RS485 необходимо задать такие параметры как: адрес прибора в сети ModBus и скорость обмена данными с прибором. Для задания адреса в режиме ожидания нажмите кнопку "Mod". Запустите меню прибора. Нажмите три раза кнопку "►". Теперь – активен пункт "Device number" (Рисунок 26). Нажмите кнопку "Ent" для установки адреса. Введите число в диапазоне от 1 до 247.

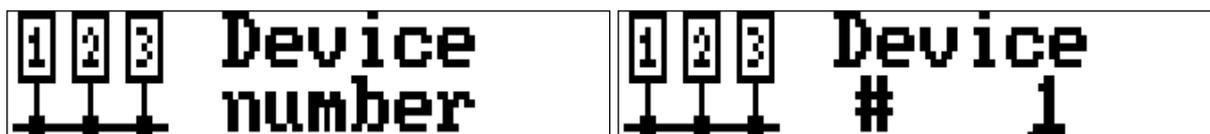


Рисунок 26 Установка адреса прибора

3.1.6. Ввод скорости обмена

Следующий пункт меню после ввода адреса – пункт "Скорость обмена". Для ее задания нажмите кнопку "Ent". Меняйте значение скорости кнопками "▲", "▼". "Esc" – отменяет изменения, а "Ent" – сохраняет (Рисунок 27).

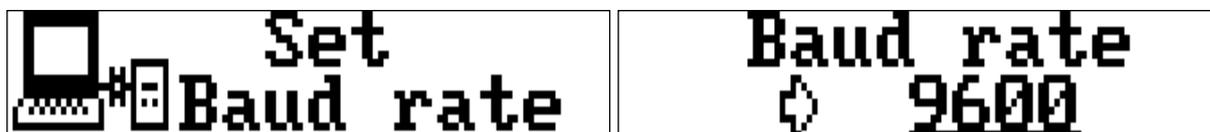


Рисунок 27 Установка скорости обмена

3.2. Настройка прибора с помощью ПО «СКИ»

Все параметры прибора можно установить с компьютера. Для этого:

1. Установите и запустите программу СКИ;
2. Привяжите в дереве объектов прибор «CDM-30» («CDM-15»);
3. Установите соединение между компьютером и прибором. Соединение с прибором в исполнении «CDM-15/P» возможно только по интерфейсу USB.

При соединении по интерфейсу RS-485 параметры связи с прибором «по умолчанию» следующие:

- Адрес – 1;
- Скорость обмена – 9600 бит/сек;
- Бит данных – 8;
- Стоп-бит – 1;
- Контроль четности – отключен;
- Протокол обмена – MODBUS RTU.

При соединении по оптике параметры связи с прибором «по умолчанию» следующие:

- IP-Адрес – 192.168.0.110;
- Маска подсети – 255.255.255.0;
- Порт – 502.

4. Нажмите правую кнопку мыши на элементе CDM-30 и выберите "Импорт конфигурации" из прибора. Программа загрузит конфигурацию прибора и запустит окно редактирования схемы РУ.

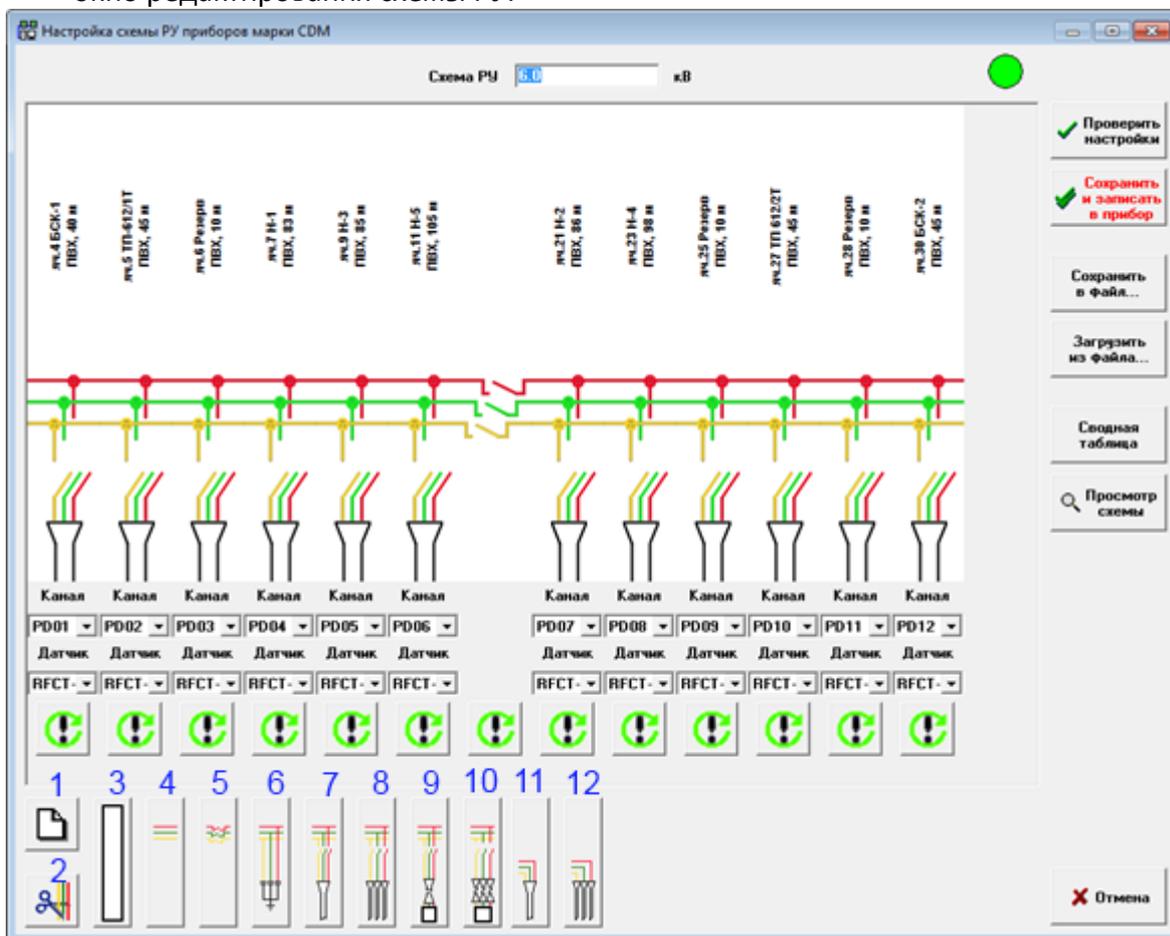


Рисунок 28 Создание или редактирование схемы КРУ

Окно редактирования схемы РУ – это окно визуальной настройки прибора. С помощью находящихся в этом окне кнопок, создайте схему, и программа настроит прибор 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 датчиков;
- 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.

Желтый индикатор в правом верхнем углу показывает, что схема изменена, и настройки прибора будут пересчитаны. При неизменных настройках индикатор горит зеленым цветом.

После изменения схемы нажмите кнопку "Сохранить и записать в прибор". Если все данные введены корректно, то программа настроит прибор в соответствии с введенной схемой, выдаст сообщение "Конфигурация сохранена" и закроет окно. Вместо кнопки «Сохранить...» можно нажать кнопку «Проверить настройки», тогда запустится окно ручной установки параметров (Рисунок 31).

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

Кнопка «Сводная таблица» позволяет на одном экране (в одном окне) исправить наиболее важные для работы прибора параметры всех ячеек РУ (см. Рисунок 30).

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

При нажатии на кнопку со знаком восклицания появится окно уточнения параметров присоединения (Рисунок 29).

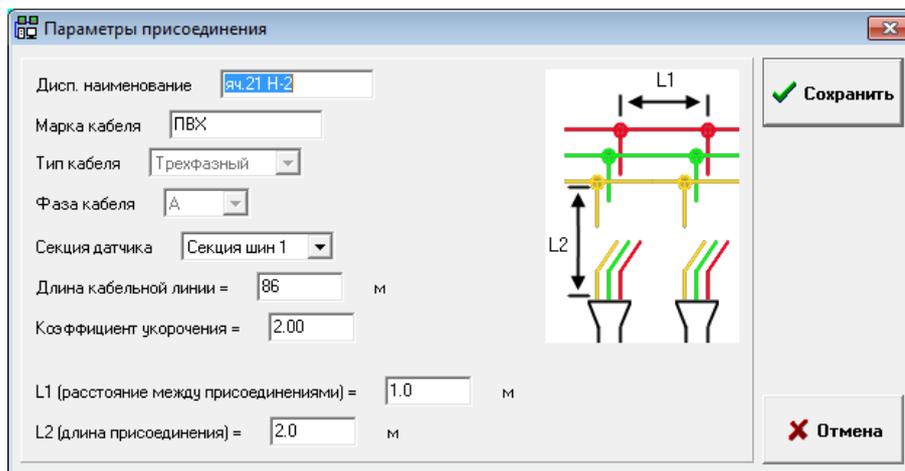


Рисунок 29 Параметры кабельной линии

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

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

- «Фаза кабеля» - для однофазного кабеля должна быть верно задана фаза, на которую установлен датчик для корректной работы встроенной системы «PDExpert».

- Длина кабельной линии – используется для отсечки заведомо ложных заключений рефлектометра и приведения рассчитанного разными алгоритмами расстояния к одной точке отсчета – месту установки датчика.

- Секция датчика – номер входа (Sync1 или Sync2) при использовании «внешней» синхронизации (например, от ТН фазы А СШ1 и ТН фазы А СШ2). При использовании такой схемы синхронизации нужно подключать входы прибора к сигналам одной и той же фазы.

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

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

Кабельные присоединения

Контролируемые параметры: Тренд (Скорость роста) | Тревожный порог тренда: 5,00 | Аварийный порог тренда: 10,00

Единицы скорости импульса: Коэффициент укорочен

#	Наименование	Тип изоляции или марка кабеля	Длина [м]	Скорость импульса	Канал	Датчик	Тревожный порог Q02 [мВ]	Аварийный порог Q02 [мВ]	Тревожный порог PDI [мВт]	Аварийный порог PDI [мВт]	Секция	Вставка
1	яч.4 БСК-1	ПВХ	40	2,00	PD01	RFCT-7	500	5000	4,0	5,0	СШ	<input type="checkbox"/>
2	яч.5 ТП-612/1Т	ПВХ	45	2,00	PD02	RFCT-7	500	5000	4,0	5,0	СШ	<input type="checkbox"/>
3	яч.6 Резерв	ПВХ	10	2,00	PD03	RFCT-7	500	5000	4,0	5,0	СШ	<input type="checkbox"/>
4	яч.7 Н-1	ПВХ	83	2,00	PD04	RFCT-7	500	5000	4,0	5,0	СШ	<input type="checkbox"/>
5	яч.9 Н-3	ПВХ	85	2,00	PD05	RFCT-7	500	5000	4,0	5,0	СШ	<input type="checkbox"/>
6	яч.11 Н-5	ПВХ	105	2,00	PD06	RFCT-7	500	5000	4,0	5,0	СШ	<input type="checkbox"/>
7												<input type="checkbox"/>
8	яч.21 Н-2	ПВХ	86	2,00	PD07	RFCT-7	500	5000	4,0	5,0	СШ	<input type="checkbox"/>
9	яч.23 Н-4	ПВХ	98	2,00	PD08	RFCT-7	500	5000	4,0	5,0	СШ	<input type="checkbox"/>
10	яч.25 Резерв	ПВХ	10	2,00			500	5000	4,0	5,0		<input type="checkbox"/>

Кнопки: Сохранить, Вставить, Отмена

Рисунок 30 Сводная таблица

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

Конфигурация прибора

Параметры прибора | Регистрация ЧР | Рефлектометр | Оценка состояния по ЧР | "Специальные" установки

Адрес прибора: 1 | IP адрес: 192.168.000.110

Скорость бит/сек: 9600 | Маска подсети: 255.255.255.000

Четность: NONE | Шлюз: 000.000.000.000

Протокол обмена: MODBUS RTU | Физический адрес: 56-43-00-33-00-15

Протокол обмена: MODBUS RTU

Мониторинг запущен

Планировщик замеров: Режим работы: По расписанию

	Часы	Минуты
1	3	0
2	6	0
3	9	0
4	12	0
5	15	0
6	18	0
7	21	0
8	0	1
9	0	0
10	0	0
11	0	0
12	0	0

Допустимые значения: от 0 час. 1 мин. до 23 час. 59 мин.

Сохранение замеров: Режим сохранения: полное

Полностью сохранять каждый: 2 -й замер, каждый 15 -й день

Кнопки: Записать в прибор, Сохранить, Загрузить, Сохранить в файл..., Загрузить из файла..., Отмена

Рисунок 31 Параметры прибора

На вкладке «Параметры прибора» находятся общие параметры прибора. Параметры настраиваемые на этой вкладке - не корректируются автоматически.

"Адрес прибора" – MODBUS адрес прибора.

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

"Четность" – установка проверки четности.

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

Группа "Планировщик"

Прибор может выполнять замеры по расписанию или через интервал. Расписание состоит из 50 пунктов, значение 0-0 воспринимается прибором как отсутствие замера по этой строке планировщика.

Группа "Сохранение"

Прибор может сохранять замеры с исходными таблицами распределения ЧР – "полное" или без них "краткое". При кратком сохранении сохраняются только рассчитанные по ним интегральные параметры. В режиме краткого сохранения можно время от времени сохранять полные замеры, например если введено "Полностью сохранять 2й замер на 3й день", то каждого третьего числа месяца (3, 6, 9, 12, 15, 18 и т.д.) 2й замер будет сохраняться полностью.

При включенной галочке "**Остановить наблюдение**" прибор останавливает мониторинг и не запускает замеры по расписанию. При подключенном пульте на его экране время от времени будет отображаться надпись "Monitoring stopped".

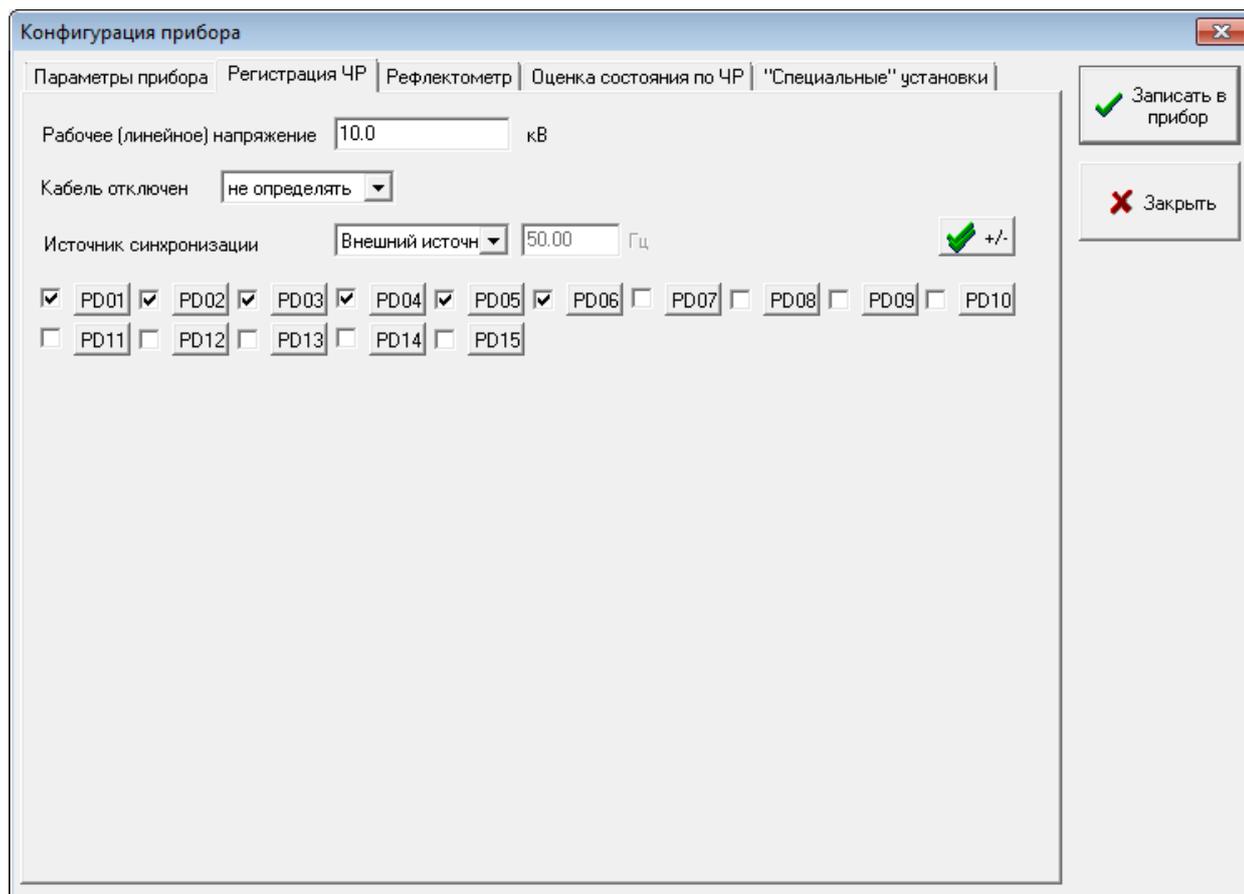


Рисунок 32 Регистрация ЧР

Параметр "Рабочее напряжение"

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

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

- а) вход "SYNC" прибора – «внешний источник»;
- б) разъем питания прибора – «питание прибора»;
- в) вход измерения частичных разрядов №1 – «вход PD01»;
- г) матрицы могут сохраняться без привязки к опорной синусоиде – «без привязки». Для регистрации без привязки нужно ввести частоту в Гц.



Внимание! Правильная привязка к синусоиде сети важна для определения типа дефекта встроенной системой PDExpert и определения фазы кабеля, на которой возникает дефект. При выборе регистрации «без привязки» 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 питание от заранее известной фазы сети напряжением 0,4 кВ, выбрать в качестве источника синхронизации «питание прибора» и установить параметр «Опережение фазы А источником синхронизации» в соответствии с фазой, от которой взято питание прибора;
- подключить на вход «SYNC» прибора 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 «Опережение фазы А источником синхронизации» в соответствии с фазой, на которой установлен конденсатор связи.

Ниже задаются включенные в регистрацию каналы.

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

Конфигурация прибора
X

Параметры прибора | Регистрация ЧР | Рефлектометр | Оценка состояния по ЧР | "Специальные" установки

Рабочее (линейное) напряжение кВ

Кабель отключен

Источник синхронизации Гц ✓ Вкл./откл. все каналы

PD01 PD02 PD03 PD04 PD05 PD06 PD07 PD08 PD09 PD10
 PD11 PD12 PD13 PD14 PD15 PD16 PD17 PD18 PD19 PD20
 PD21 PD22 PD23 PD24 PD25 PD26 PD27 PD28 PD29 PD30

Параметры канала №1

Чувствительность нКл/В Длина кабельной линии, м
Фаза датчика Коз.фициент укорочения
Секция датчика

Фильтрация по времени прибытия (с соседними фидерами)

Канал кабеля слева Канал кабеля справа

Фильтрация по амплитуде (с кабелями других фаз)

Канал кабеля слева Канал кабеля справа

Порог фильтра, % Порог фильтра, %

✓ Сохранить и записать в прибор
Сохранить
Загрузить
Сохранить в файл...
Загрузить из файла...
✗ Отмена

Рисунок 33 Параметры фильтрации

«**Чувствительность**» - коэффициент перевода Вольты – наноКулоны. Устанавливается автоматически при выборе правильного типа датчика в окне редактирования схемы. Уточняется при калибровке (см. 1.6 Калибровка).

«**Фаза датчика**» - фаза на которой установлен датчик. Установите значение «А» для датчика на трехфазном кабеле.

«**Секция датчика**» - параметр отвечает за выбор входа синхросигнала во время проведения измерений при подключении к двум ТН (входы прибора SYNC1 и SYNC2) и выборе внешнего источника синхронизации.

Параметры фильтрации отвечают за определение прибором кабеля, в котором возник каждый зарегистрированный импульс.

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).

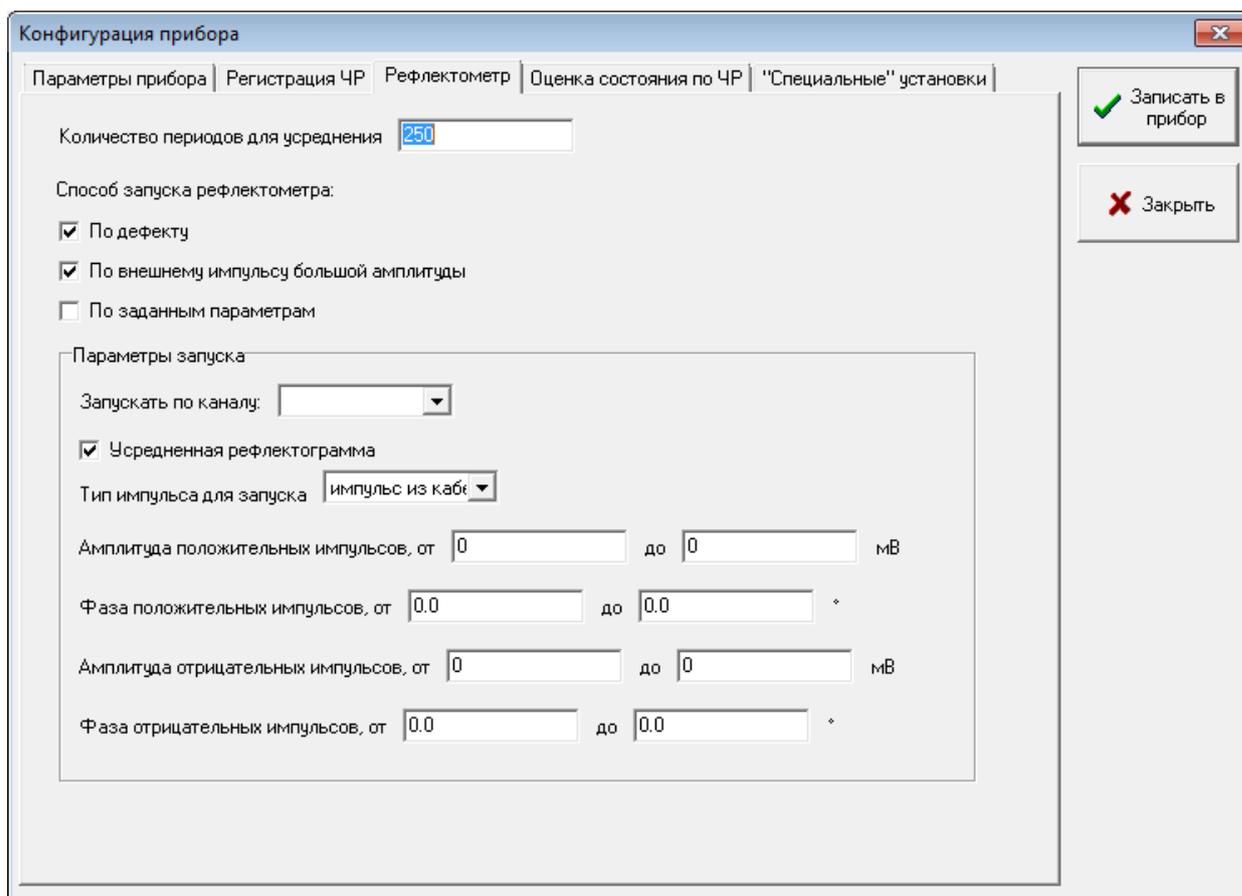


Рисунок 34 Регистрация рефлектограмм

На вкладке «Рефлектометр» настраиваются режимы запуска рефлектометра. Запуск «по дефекту» и «по внешнему импульсу большой амплитуды» - это автоматические режимы. Также на этой вкладке можно задать ручной режим – для этого нужно выбрать канал, по которому будет сохраняться рефлектограмма, и амплитудное и фазовое окна для положительных и отрицательных импульсов.



Внимание! Ручной режим и автоматические режимы не могут быть выбраны одновременно.

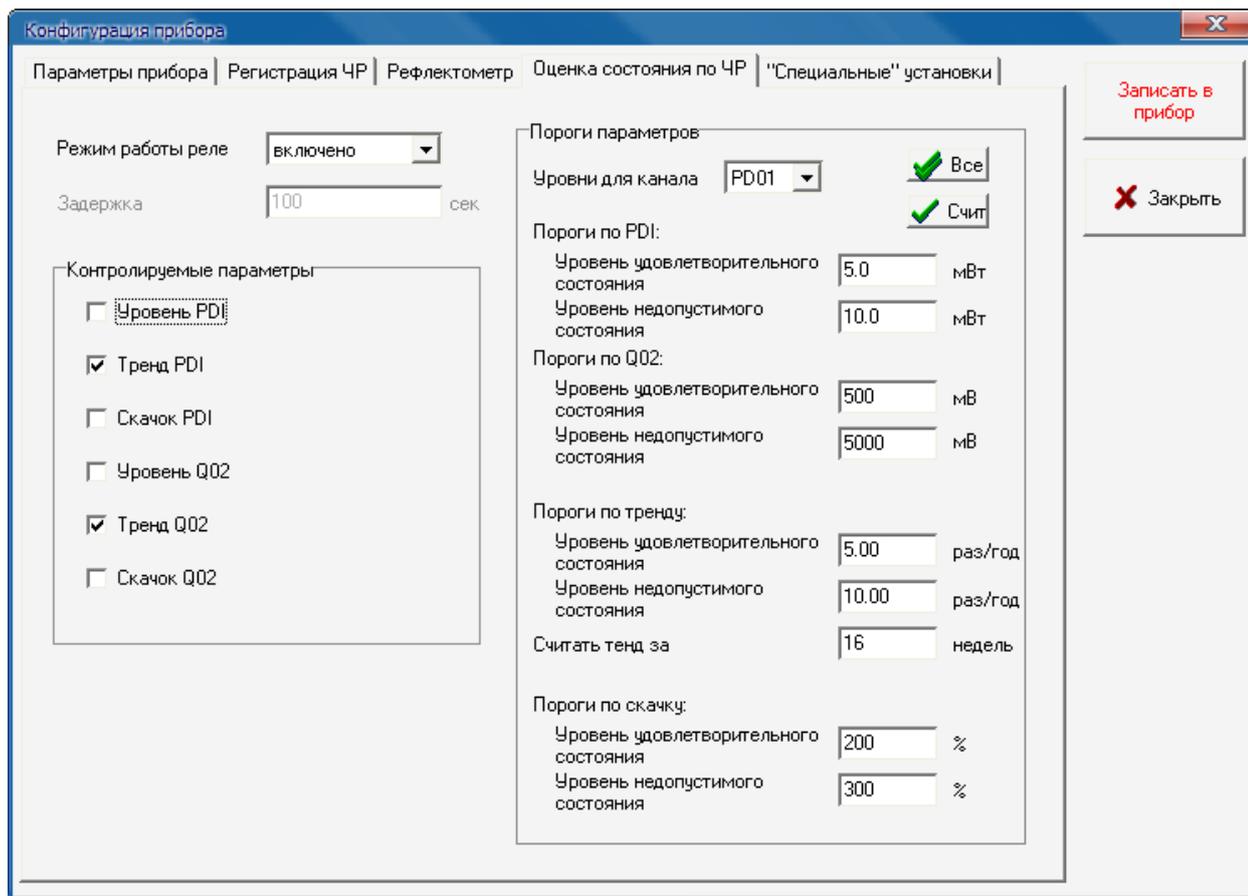


Рисунок 35 Оценка состояния

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

Группа "Контролируемые параметры"

Тут нужно выбрать, по каким параметра замыкать реле состояния, по каким – нет.

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 приняли, что наиболее показательны тренды (скорости роста), особенно тренд PDI.

Группа "Пороги"

Тут нужно ввести пороги на контролируемые параметры и период, за который рассчитывать тренд. Пороги на PDI и Q02 устанавливаются на каждый канал, пороги на скачок и тренд устанавливаются для всех каналов.

Порог на интенсивность частичных разрядов (PDI) может быть рассчитан программой автоматически на основании введенного рабочего напряжения.

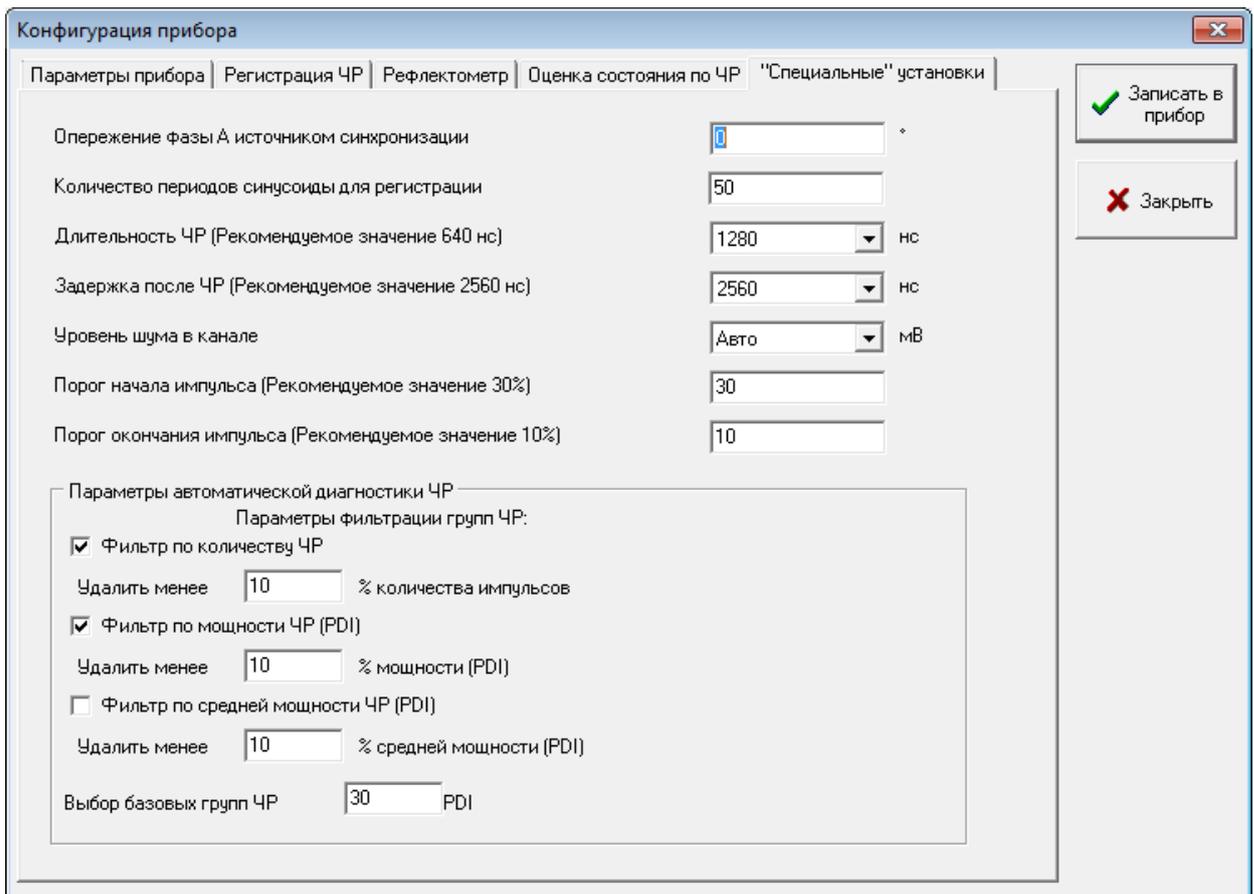


Рисунок 36 Специальные установки

На вкладке «Специальные» установки» задаются специфические настройки прибора: определение формы импульса, параметры автоматической диагностики функции «PDExpert».

Не рекомендуется изменять параметры, расположенные на этой вкладке, за исключением параметра «Опережение фазы А источником синхронизации».

3.3. Настройка прибора CDM-15/P на новом месте измерений

Работа с прибором в исполнении CDM-15/P полностью аналогична работе с приборами в стационарном исполнении, за исключением небольшой особенности – перед началом настройки и калибровки прибора необходимо очистить память от предыдущих данных. Эта операция производится при помощи ПО «СКИ» - команда «Очистить память модуля» из меню прибора CDM-15/P.

Так как прибор рассчитан на кратковременный мониторинг, то минимальная база для начала расчета скоростей роста мощности и амплитуды ЧР уменьшена до 10 дней.

Краткая информация о фирме:***ООО «ДИМРУС» (г. Пермь)***

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

Россия, 614000, г. Пермь, ул. Кирова 70, офис 403.

Тел./факс: (342) 212-84-74

Адреса в интернете: <http://www.dimrus.ru>

<http://www.dimrus.com>

e-mail: dimrus@dimrus.ru

e-mail: dimrus@dimrus.com