

Система мониторинга технического состояния
распределительных трансформаторов 10÷35 кВ

TDM-35S

Руководство по эксплуатации

ВЦ.411729.069 РЭ

г. Пермь

Оглавление

1. Техническое описание	3
1.1. Назначение.....	3
1.2. Основные технические параметры прибора «TDM-35S».....	3
1.2.1. Основные технические данные прибора «TDM-Ы».....	3
1.2.2. Параметры надежности прибора «TDM-35S».....	4
1.3. Условия эксплуатации прибора «TDM-35S»	4
2. Описание технических средств прибора «TDM-35S»	5
2.1. Конструктивное исполнение прибора «TDM-35S»	5
2.1.1. Общая структура технических средств прибора «TDM-35S»	5
2.1.2. Внутренние коммутации прибора «TDM-35S»	5
2.2. Описание и настройка.....	5
2.2.1. Первичные датчики, входящих в состав поставки системы «TDM-35S».....	6
2.2.2. Общее описание работы	6
2.2.3. Режимы работы светодиодов, экрана и реле прибора	6
2.2.4. Описание настройки параметров	7
3. Программное обеспечение INVA.....	7
3.1. Установка программного обеспечения.....	7
3.2. INVA portable	8
3.2.1. Работа с программой	8
3.2.2. Настройка прибора	9
3.2.3. Загрузка и просмотр замеров.....	13
4. Алгоритмы работы	16
4.1. Алгоритмы измерения частичных разрядов	17
4.1.1. Анализ частотных свойств частичных разрядов.....	18
4.1.2. Анализ изменения интенсивности частичных разрядов в процессе эксплуатации оборудования.....	19
4.1.3. Общие вопросы нормирования частичных разрядов.....	20
4.1.4. Дополнительные признаки ЧР, выявляемые в ХАРГ анализе масла.....	23

1. Техническое описание

1.1. Назначение

Система мониторинга технического состояния трансформаторов «TDM-35S» (далее по тексту - «TDM-35S») предназначена для контроля технического состояния распределительных трансформаторов 10 – 35 кВ. Может быть использована для трансформаторов с сухой (литой) изоляцией и баковых маслонаполненных трансформаторов.

Прибор марки «TDM-35S» состава системы «TDM-35S» обеспечивает:

- мониторинг состояния изоляции вводов и обмоток трансформатора методом частичных разрядов (ЧР);
- регистрация температурных режимов работы трансформатора
- контроль технического состояния конструкции трансформатора по параметрам вибрации*
- контроль влагосодержания в масле*
- связь с остальными компонентами системы.

* - отсутствуют в минимальной комплектации поставки.

1.2. Основные технические параметры прибора «TDM-35S»

1.2.1. Основные технические данные прибора «TDM-35S»

Основные технические данные прибора «TDM-35S» приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные технические данные

Тип прибора «TDM-35S»	Стационарный
Рабочее напряжение вводов	10 ÷ 35 кВ
Количество датчиков частичных разрядов	3
Количество каналов измерения температуры	до 4
Количество каналов измерения токов нагрузки	1
Контроль параметров температуры окружающей среды	1
Контроль параметров влажности окружающей среды	1
Датчик виброускорения	1
Диапазон измерений частичных разрядов высокочастотный (ВЧ, HF)	0.5 – 20 МГц
Диапазон измерений частичных разрядов сверхвысокочастотный (СВЧ, UHF)	400 – 1500 МГц
Порты внешней связи прибора «TDM-35S»	RS-485;

1.2.2. Параметры надежности прибора «TDM-35S»

Любые отказы в приборе «TDM-35S» не приводят к выходу из строя первичных преобразователей (аналоговых и релейных), потере информации с функционирующих устройств и формированию ложных сигналов.

Любые отказы в первичных преобразователях (датчиках) не приводят к отказу прибора «TDM-35S», а также формированию ложных сигналов.

Несанкционированное снятие первичного питания не приводит к потере накопленной информации. Прибор «TDM-35S» восстанавливает работоспособность после снятия первичного питания и последующего включения первичного питания.

1.3. Условия эксплуатации прибора «TDM-35S»

Прибор «TDM-35S» устанавливается рядом с оборудованием, подлежащими контролю.

Прибор «TDM-35S» может эксплуатироваться при температуре окружающего воздуха от минус 40 до плюс 60 °С и относительной влажности воздуха при температуре плюс 25°С без конденсации влаги до $95 \pm 2\%$.

Прибор «TDM-35S» выпускается в корпусах двух видов:

1) Алюминиевый герметичный корпус: габаритные размеры – 308x200x115 мм степень защиты от внешних воздействий – IP43 Возможна уличная установка.
2) Стальной корпус: габаритные размеры – 280x145x75 мм степень защиты от внешних воздействий – IP20 Устанавливается в закрытых, защищенных от влаги и пыли помещениях или в монтажных шкафах уличной установки.

Эксплуатируется прибор «TDM-35S» в атмосфере без агрессивных сред.

2. Описание технических средств прибора «TDM-35S»

2.1. Конструктивное исполнение прибора «TDM-35S»

2.1.1. Общая структура технических средств прибора «TDM-35S»

Все технические средства прибора «TDM-35S» реализованы в виде интегрированной конструкции. Подразделение технических средств прибора «TDM-35S» производилось на основании следующих критериев:

- Максимальное объединение всех функций мониторинга, контроля и диагностики отдельной подсистемы трансформатора.

- Перенастройка алгоритмов работы всего прибора «TDM-35S» легко осуществляется изменением соответствующих параметров конфигурации.

2.1.2. Внутренние коммутации прибора «TDM-35S»

Прибор «TDM-35S» смонтирован в монтажном шкафу.

Кабельные линии от первичных датчиков подключаются к клеммам на DIN-рейке монтажного шкафа прибора.

2.2. Описание и настройка

Входы прибора:

- входы для подключения датчиков температуры;
- входы для подключения датчика тока нагрузки;
- вход для подключения датчика температуры и влажности окружающей среды;
- три входа для подключения датчиков регистрации ЧР;
- вход для подключения датчика вибрации;
- интерфейс RS-485 для подключения цифрового датчика влагосодержания в масле;

Интерфейсы:

- RS-485;
- USB;

На лицевой панели прибора есть экран, на котором отображаются значения измеренных параметров, а также светодиоды «Status», «Warning», «Alarm».

Светодиоды:

- 1 **«Status»** – горит постоянно в нормальном режиме; мерцает с частотой 0,5 Гц при проведении очередного измерения, мерцает с частотой 2 Гц при наличии ошибок в работе прибора.
- 2 **«Warning»** – горит при превышении порога тревожной сигнализации;
- 3 **«Alarm»** – горит при превышении порога аварийной сигнализации;

2.2.1. Первичные датчики, входящих в состав поставки системы «TDM-35S»

В зависимости от типа трансформатора применяются различные датчики регистрации частичных разрядов. Для сухих трансформаторов с литой изоляцией возможно использование СВЧ антенн, направленных на обмотки трансформатора и прикрепленных внутри на защитном ограждении или на дополнительных стойках. Для маслонаполненных трансформаторов используются датчики контроля растекания высокочастотных токов, которые крепятся на стенки бака трансформатора или встроенные в бак трансформатора антенны.

Устройства контроля тока нагрузки предназначены для контроля нагрузки трансформатора. Выходной сигнал датчиков пропорционален току, протекающему во вторичных цепях измерительных трансформаторов тока в фазах.

Устройства контроля температуры марки «Pt100» монтируются на поверхности бака трансформатора и предназначены для контроля температурных режимов работы. В зависимости от типа силового трансформатора и места установки датчика конструкция их может быть различна.

Имеется возможность записывать по интерфейсу RS-485 значение тока нагрузки и температур вместо измерения датчиками.

Для измерения параметров вибрации используется вибродатчик. Вибродатчик обычно устанавливается на нижней раме сухого трансформатора или на баке маслонаполненного трансформатора.

2.2.2. Общее описание работы

Прибор включается сразу после подачи питания. При включении происходит инициализация компонентов и осуществляется тестирование. Если при загрузке и тестировании выявлены неполадки, отображается информация об ошибке сигнализацией светодиодом «Status».

После загрузки прибор переходит в режим мониторинга.

Регистрация каналов измерения и их анализ происходит непрерывно.

Запись зарегистрированных данных в память происходит через определенный интервал времени (задается конфигурацией) или по срабатыванию условий.

2.2.3. Режимы работы светодиодов, экрана и реле прибора

Прибор «TDM-35S» имеет 3 светодиода, описывающих состояние прибора:

1. Светодиод «Состояние 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. Светодиод «Ухудшенное состояние» («Warning», желтый). Горят постоянно при превышении установленного аварийного порога. Включается/отключается (примерно раз в 2 секунды) при превышении предупредительного порога.
3. Светодиод «Предварийное состояние» («Alarm», красный). Горят постоянно при превышении установленного аварийного порога.

Включается/отключается (примерно раз в 2 секунды) при превышении предупредительного порога.

Прибор «TDM-35S» имеет экран, на котором отображаются значения измеренных параметров.

Прибор «TDM-35S» имеет 2 реле:

1. Реле аварийного состояния измеряемых параметров. Реле замыкается при превышении порога аварийного состояния по любому из каналов. Реле отключается при снижении значения параметра ниже порога.
2. Реле статуса прибора. Реле замыкается при появлении ошибок при работе прибора.

2.2.4. Описание настройки параметров

Настройка осуществляется из отдельной настроечной программы с компьютера через интерфейсы RS-485 или USB при помощи программного обеспечения INVA.

Рекомендуется для настройки интерфейсов и адреса использовать интерфейс USB, так как его параметры жестко определены и никакие установки на его работоспособность не влияют.

3. Программное обеспечение INVA

Для работы с прибором может быть использован комплекс программ мониторинга INVA, который настраивается индивидуально для каждого заказчика, или портативная версия программы настройки и анализа данных INVA portable.

Конфигуратор INVA – монитор - приложение, занимающееся созданием схемы отображения для INVA - монитор.

При использовании прямого подключения к прибору посредством USB-кабеля необходимо установить USB-драйвер из комплекта программного обеспечения.

3.1. Установка программного обеспечения

Установка программного обеспечения производится стандартным для системы Windows способом. Запустите программу и следуйте подсказкам установщика.

Для установки USB-драйвера прибора запустите файл inst_drv.exe из комплекта ПО с правами администратора.

3.2. INVA portable

3.2.1. Работа с программой

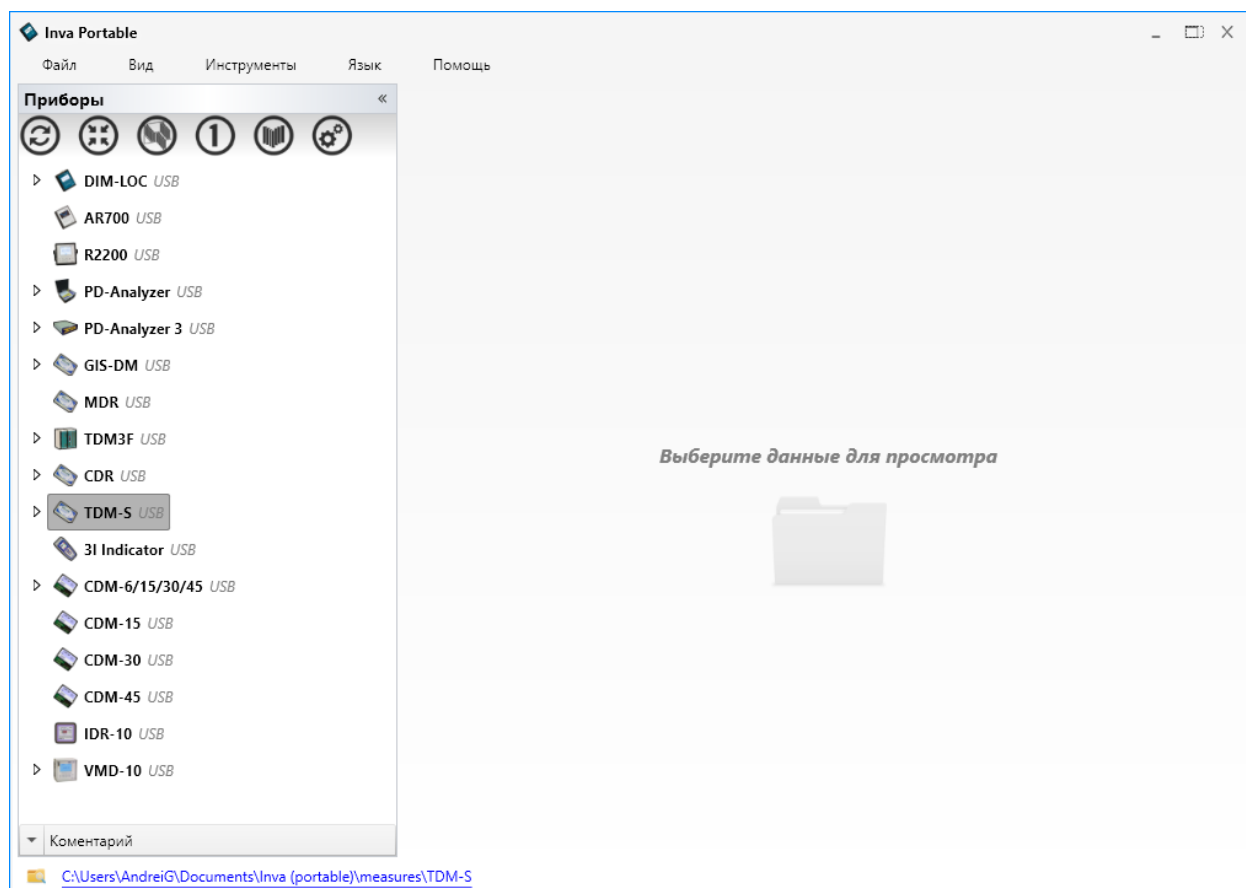


Рисунок 3.1 Общий вид программы INVA

Окно программы состоит из четырех областей:

Строка меню (верхняя часть);

Строка индикации (нижняя часть);

Список приборов (левая часть);

Окно с параметрами замеров (правая часть).

Строка меню содержит следующие пункты:

«Файл» - содержит функции экспорта и импорта данных и команду выхода из программы;

«Вид» - параметры просмотра данных;

«Инструменты» - средства настройки программы;

«Язык» - выбор языка интерфейса программы;

«Помощь» - информация о компании-изготовителе программы.

Подробная информация по работе с программой Inva Portable изложена в документе «Программное обеспечение «INVA (Portable)». Руководство пользователя».

Меню «TDM-35S»

Наведите курсор на элемент «TDM-35S» и нажмите правую кнопку манипулятора «мышь».

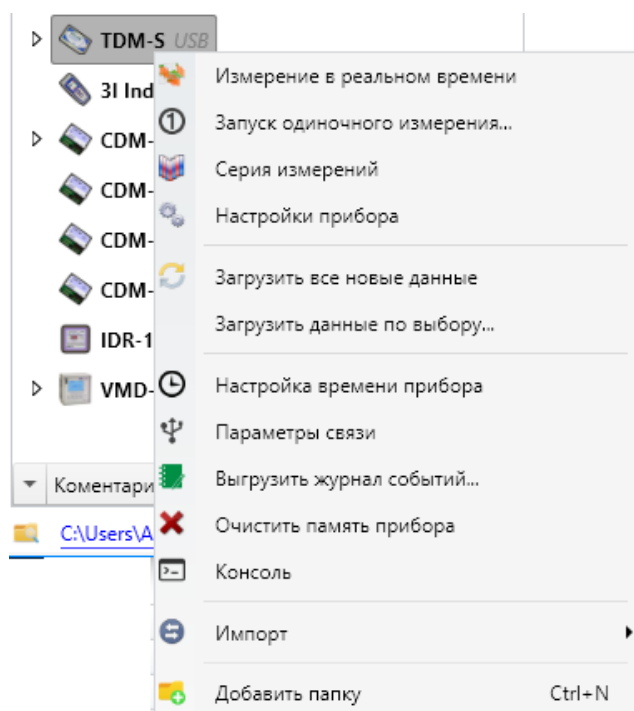


Рисунок 3.2

Меню прибора позволяет запускать измерения ЧР в реальном времени, запуски измерения или серии измерений, настраивать прибор, загружать замеры из энергонезависимой памяти прибора, создавать папки и др.

3.2.2. Настройка прибора

Программа всегда сохраняет историю изменения настроек, новые настройки можно создать, используя в качестве шаблона любые из ранее установленных. Для того чтобы загрузить настройки из прибора, нужно в меню прибора выбрать пункт «Настройки прибора». После загрузки откроется окно с настройками, у этого окна есть вкладки «Параметры прибора», «Регистрация ЧР», «Пороги ЧР», «Доп. параметры». Окно конфигурации с этими вкладками представлено на рисунках 3.3 – 3.6.

Конфигурация прибора #1 (TDM-S)

Параметры прибора

Регистрация ЧР

Пороги ЧР

Доп.параметры

Заводской номер прибора

1

Часовой пояс

GMT

часов

:00

мин.

MODBUS-адрес прибора

1

RS485

Скорость бит/сек

115200

Четность

NONE 1stop

Протокол обмена

MODBUS RTU

Место установки прибора

Подразделение

Подстанция

КЛ/Ячейка КРУЭ

Планировщик

Режим

По расписанию

	Часы	Мин
1	3	0
2	6	0
3	9	0
4	12	0
5	15	0
6	18	0
7	21	0

Сохранение данных ЧР

Режим сохранения

с параметрами импульсов

Полностью сохранять

2

й замер

на

3

день

☐ Отключить измерение ЧР

Записать в прибор

Закрыть

Загрузить

Сохранить

Помощник настройки измерения ЧР

Рисунок 3.3

На первой вкладке «Параметры прибора» окна находятся общие параметры прибора:

- параметры прибора и места установки (заводской номер, место установки, часовой пояс);
- параметры интерфейса связи RS-485;
- планировщик расписания сохранения данных измерений и тип сохраняемых данных.
- Сохранение данных ЧР. Прибор может сохранять информацию об измеренных данных в трех режимах, каждый следующий режим включает данные предыдущих: 1 – Краткое, только уровни амплитуд и интенсивности, без данных о распределении импульсов. 2 –С параметрами импульсов. В этом режиме добавляется информация о параметрах каждого импульса, используемая для построения амплитудно-фазового распределения ЧР и работы системы PD-Expert. 3 – С исходными сигналами. В этом режиме добавляется форма каждого зарегистрированного импульса.

Рисунок 3.4

На вкладке «Регистрация ЧР» параметры измерений:

«Синхронизация измерений» - способ синхронизации внутри группы приборов (на одном объекте). Для прибора TDM-35S выбрать «Нет».

«Измерять ... периодов сети» - количество периодов промышленной частоты, в течение которых будет производиться измерение возникающих импульсов.

«Сдвигать фазу на...» - угол опережения источником внутренней синхронизации фазы А промышленной сети.

«Синхр. с частотой сети» - способ синхронизации с частотой промышленной сети. Для прибора TDM-35S выбрать «По питанию» или «Свободная»:

Внешняя – Наиболее точный способ синхронизации. В качестве источника используется внешний источник напряжения, например, измерительных трансформаторов напряжения (ТН).

Ток нагрузки/радиоканал – синхронизация от сигнала с датчика IFCT-5A/PFR-1;

По питанию – синхронизация с сетью при помощи питающей сети. В этом случае чаще всего возникает неопределенный сдвиг фазы относительно промышленной сети;

Свободная – несвязанное с сетью измерение. Должно использоваться только в случае отсутствия любых других источников синхронизации.

«Время регистрации импульса» - время, в течение которого регистрируется форма сигнала.

«Пауза после импульса» - интервал времени после «времени регистрации», в течение которого все измеренные импульсы считаются не самостоятельными, а продолжением уже измеренного.

«Дополнительное усиление канала» - может использоваться для усиления импульсов малой амплитуды (увеличения чувствительности прибора) при отсутствии импульсов большой амплитуды.

«Частотный диапазон» - выбирается в зависимости от используемых датчиков. Он задается для тройки датчиков. Если используются СВЧ антенны, требуется установить диапазон «UHF», если используются TEV датчики, то требуется установить диапазон «HF».

Переключатель «Постоянный мониторинг PDI» должен быть включен – для того, чтобы не были пропущены данные, резко отличающиеся от «средних». Измерение будет запущено помимо расписания, если уровень PDI резко вырастет в N раз, и это превышение будет зафиксировано в течении не менее T секунд. Значение N вводится в поле «Запустить измерение при увеличении PDI в ... раза», значение T – в поле «длительностью...сек».

Конфигурация прибора #1 (TDM-S)

Параметры прибора | Регистрация ЧР | **Пороги ЧР** | Доп.параметры

Граничные значения параметров

Границы уровней PDI и Q02 канала: PD1 ☒ Все

Пороги состояния по энергии импульсов (PDI)

☐ Включить

Предельные значения состояний для канала PD1

Уровень ухудшенного состояния: 1000 мкВт

Уровень предаварийного состояния: 2000 мкВт

Пороги состояния по амплитуде импульса (Q02)

☒ Включить

Предельные значения состояний для канала PD1

Уровень ухудшенного состояния: -45,0 dBm

Уровень предаварийного состояния: -30,0 dBm

Пороги состояния по изменению параметров ЧР (тренд)

☒ Тренд мощности

☐ Тренд амплитуды

Скорость роста при ухудшенном состоянии: 2,00 раз/год

Скорость роста при предаварийном состоянии: 3,00 раз/год

Быстрое изменение параметров ЧР (скачок)

☐ Быстрое изменение PDI

☐ Быстрое изменение Q02

Изменение при ухудшенном состоянии: 200 %

Изменение при предаварийном состоянии: 300 %

Режим работы реле: включено

Задержка: 100 сек

☒ Подтверждение состояния

Доп. параметры тренда »

Доп. параметры расчета амплитуды ЧР »

Записать в прибор

Закрыть

Загрузить

Сохранить

Помощник настройки измерения ЧР

Рисунок 3.5

На вкладке «Пороги ЧР» сгруппированы параметры, относящиеся к оценке измерений: контролируемые пороги ЧР, границы допустимых значений этих параметров, параметры работы встроенной диагностической программы «PD-Expert».

Конфигурация прибора #1 (TDM-S)

Параметры прибора

Регистрация ЧР

Пороги ЧР

Доп.параметры

Доп.параметры

Номинальный ток нагрузки

500,1

Калибровочный коэффициент вибрации

0,106

Коэффициент токового преобразователя [В/А]

0,100

Коэффициент преобразования ТТ

1000,000

Источник данных для токов нагрузки

RS-485

Источник данных для температур

RS-485

Пороги

Температура

	Тревожный уровень	Аварийный уровень	
Канал 1 [° C]	90	110	☒ Включить
Канал 2 [° C]	90	110	☒ Включить
Канал 3 [° C]	90	110	☒ Включить
Канал 4 [° C]	90	110	☒ Включить

Вибрация

	Тревожный уровень	Аварийный уровень	
Виброскорость [мм/с]	10,0	15,0	☒ Включить

Записать в прибор

✖ Закрыть

Загрузить

Сохранить

Помощник настройки измерения ЧР

Рисунок 3.6

На вкладке «Доп. параметры» настраиваются коэффициенты преобразования трансформатора тока, датчика вибрации в соответствии с паспортными данными, источники данных для тока нагрузки и температур (RS-485 или датчики), а также пороговые значения для температур и вибрации.

После внесения нужных изменений нажмите кнопку «Записать в прибор» для записи изменений в память прибора или «Сохранить» для записи в БД без записи в прибор.

3.2.3. Загрузка и просмотр замеров

Для того чтобы загрузить замеры из прибора, нужно нажать правой клавишей мыши на прибор TDM-35S и выбрать из меню «Загрузить все новые данные» или «Загрузить данные по выбору»:

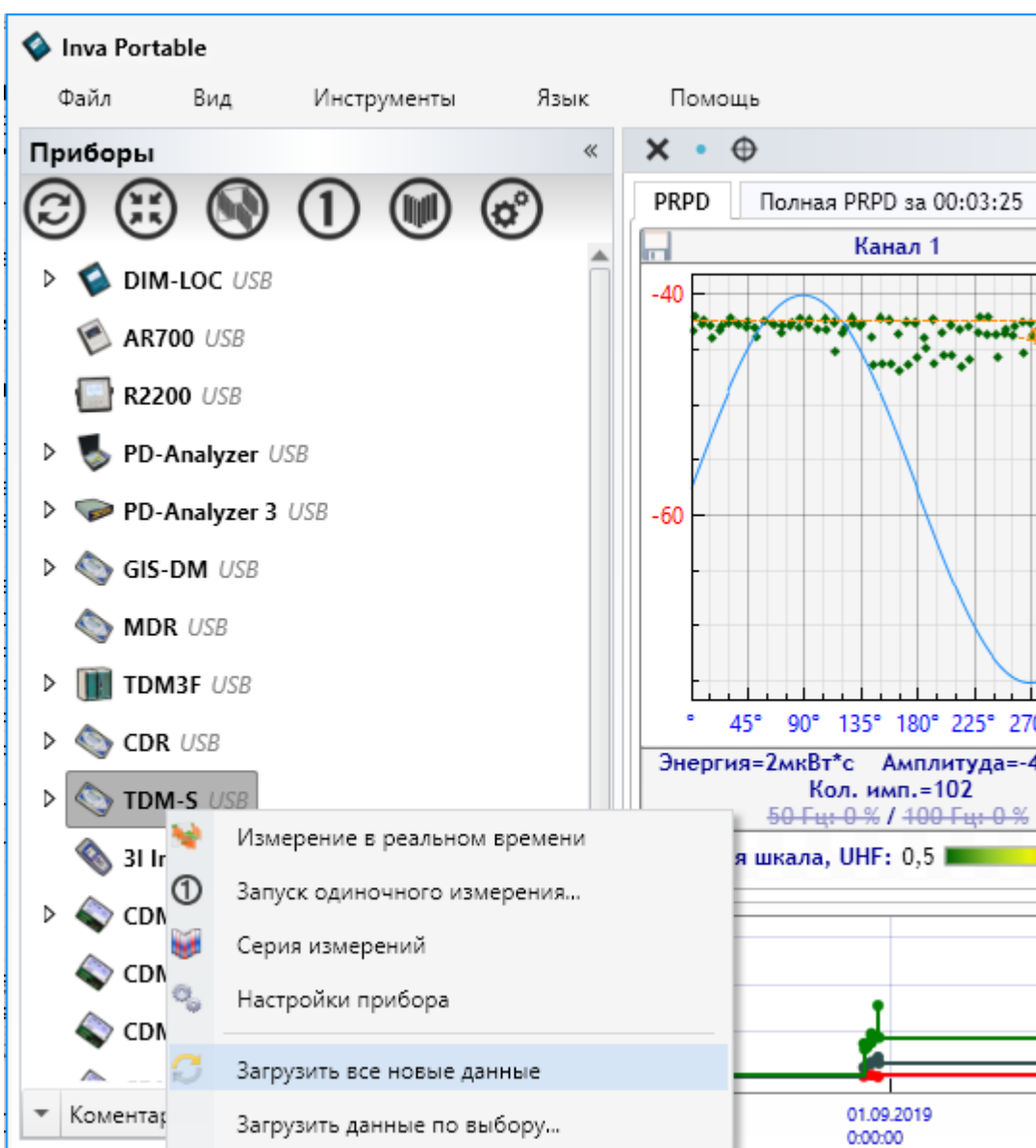


Рисунок 3.7

После загрузки данных из прибора появится окно с распределениями частичных разрядов (в правой верхней части экрана) и графиками данных (в правой нижней части экрана). Точки на графиках соответствуют замерам, загруженным из памяти прибора. При нажатии на точку на графике откроется соответствующее распределение ЧР.

Для частичных разрядов доступно несколько окон просмотра данных.

PRPD – амплитудно-фазовое распределение ЧР. По оси абсцисс при этом откладывается фаза промышленной сети, на которой возник импульс, на оси ординат – амплитуда импульсов.

Полная PRPD за ... время. Здесь представлено амплитудно-фазовое распределение ЧР, накопленное за время, которое проходит между замерами по расписанию.

Распределение 3D. К стандартному PRPD-распределению добавляется ось «Период». То есть каждый импульс характеризуется не только фазой синусоиды, на которой он возник, но и номером синусоиды от начала измерения.

PD-Cloud. В этом окне зарегистрированные импульсы ЧР можно группировать по таким признакам, как «Длительность первой полуволны импульса» и «Общая длительность импульсов». Если есть несколько источников ЧР, то параметры импульсов

от одного источника могут отличаться от параметров импульсов другого источника. На PRPD импульсы от разных источников смешаются, разобраться в такой картине будет непросто. Для упрощения разбора используется этот режим просмотра и фильтрации.

PD-Expert. Окно с результатами работы экспертной системы. По амплитудно-фазовому распределению импульсов ЧР система PD-Expert определяет тип дефекта изоляции и степень его опасности.

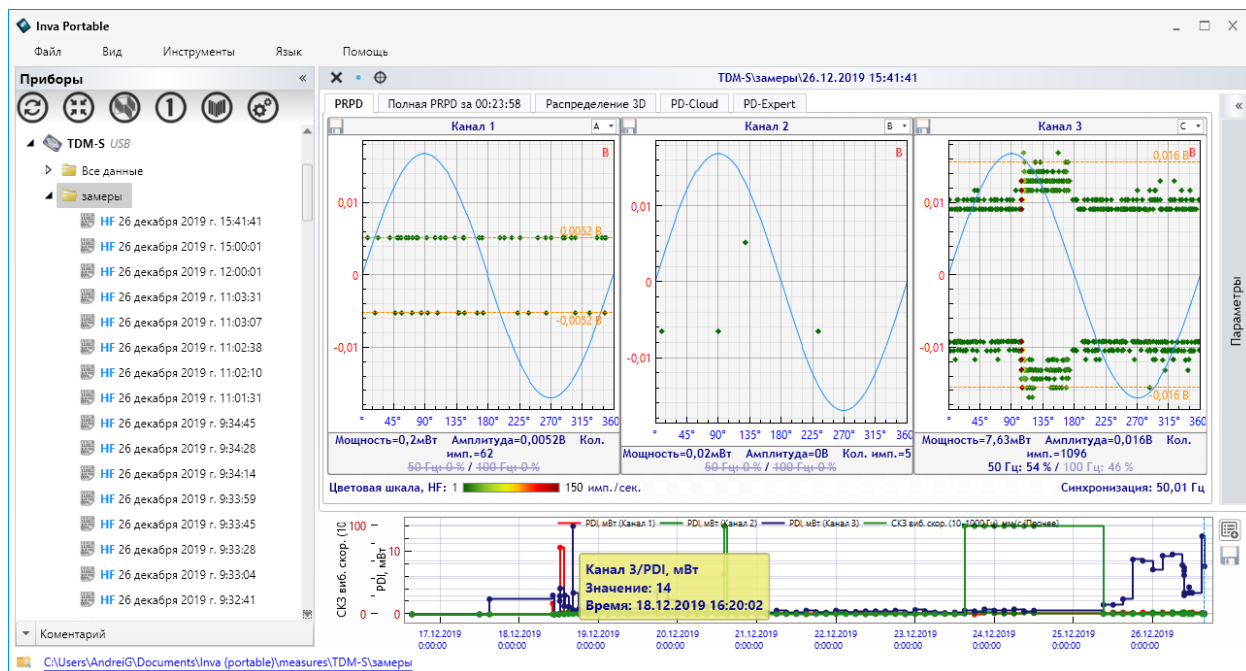


Рисунок 3.8

Для того чтобы вывести требуемые параметры на графики, нужно нажать на кнопку, отмеченную на рисунке 3.9, и выбрать нужные параметры.

Если на графике одновременно выбраны кривые с разными единицами измерения, то в левой части графика будет выведено несколько шкал – по одной на единицу измерения.

Все интегральные параметры частичных разрядов, например, мощность ЧР, Амплитуда ЧР, рассчитываются по группе зарегистрированных импульсов. В параметрах прибора может быть настроено сохранение не только интегральных параметров, но и исходных импульсов. В случае, если с этим измерением сохранены исходные импульсы, по которым рассчитаны интегральные параметры – можно перейти к окну их просмотра, нажав левую кнопку мыши на узле кривой в окне «Тренды».

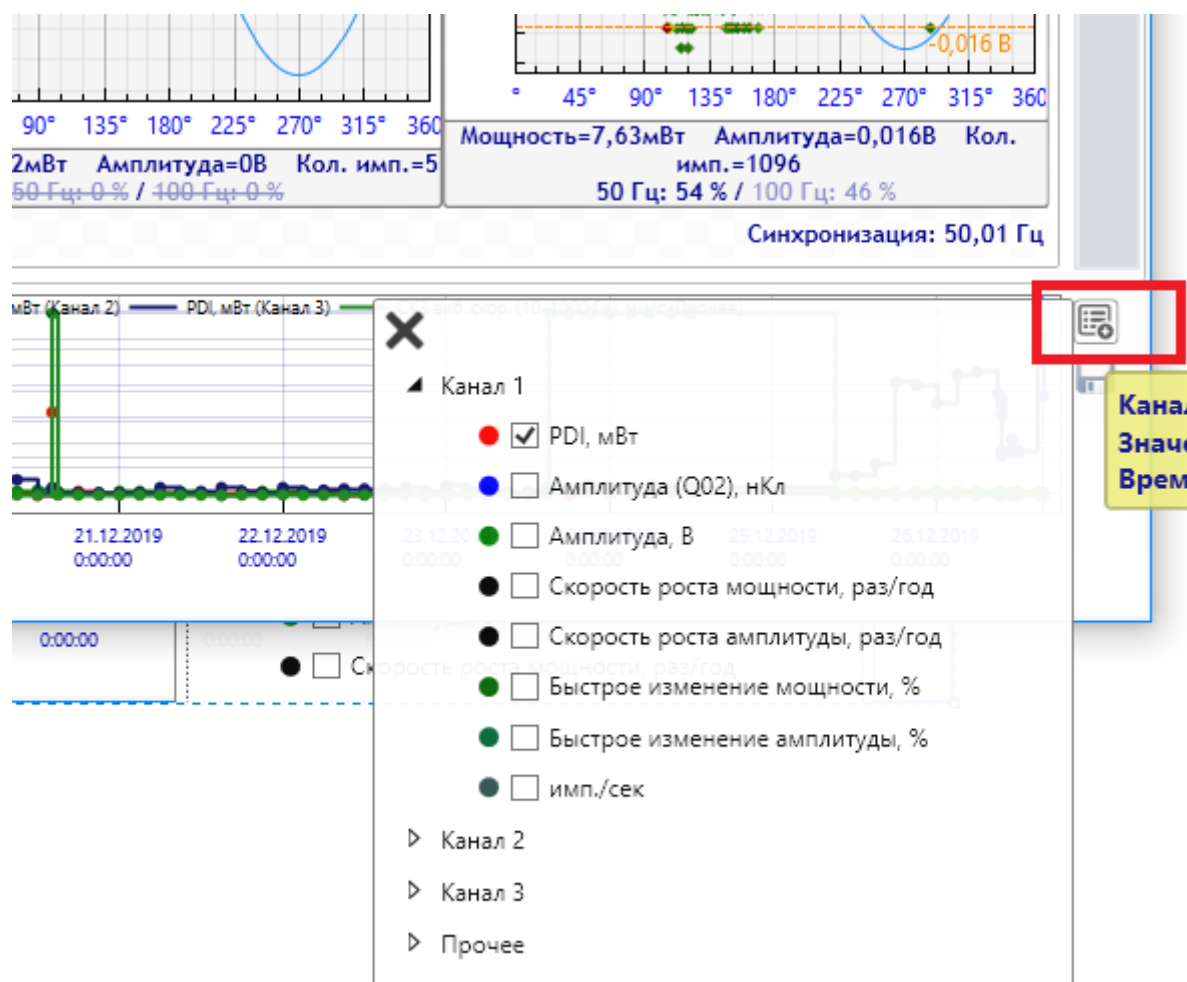


Рисунок 3.9

Выберите группу параметров в окне «Опции графика» и отметьте нужную кривую. Если на выбранный параметр установлены граничные значения, то на графике автоматически подсвечиваются диапазоны тревожных и аварийных значений.

Если на графике одновременно выбраны кривые с разными единицами измерения, то в левой части графика будет выведено несколько шкал – по одной на единицу измерения.

Все интегральные параметры частичных разрядов, например, мощность ЧР, Амплитуда ЧР, рассчитываются по группе зарегистрированных импульсов. В параметрах прибора может быть настроено сохранение не только интегральных параметров, но и исходных импульсов. В случае, если с этим измерением сохранены исходные импульсы, по которым рассчитаны интегральные параметры – можно перейти к окну их просмотра, нажав левую кнопку мыши на узле кривой в окне «Тренды».

4. Алгоритмы работы

Технические характеристики и возможности оперативного анализа технического состояния и диагностики дефектов определяются внутренними алгоритмами, реализованные в микропроцессоре. Наиболее важными являются алгоритмы регистрации, обработки и анализа информации.

4.1. Алгоритмы измерения частичных разрядов

Прибор «TDM-35S» позволяет с высокой чувствительностью измерять высокочастотные импульсы, позволяет эффективно отстраиваться от помех, выделять типы и степень опасности дефектов, отслеживать временные изменения состояния изоляции.

Основная сложность при анализе ЧР заключается в фильтрации импульсов частичных разрядов, в исключении из последующего анализа импульсов помех, которых обычно в трансформаторах очень много.

Если в качестве датчиков ЧР используются СВЧ антенны, то две антенны направляются на обмотки трансформатора с разных сторон, а третья антенна устанавливается на трансформаторе и используется для регистрации импульсов помех. Одновременно сравнение параметров импульсных сигналов с трех антенн позволяет отстраиваться от внешних высокочастотных помех.

В приборе «TDM-35S» реализованы еще несколько диагностических методов, позволяющих еще больше снизить влияние внешних помех.

К таким диагностическим методам можно отнести:

- Метод анализа параметров импульсов. После регистрации импульсов система проверяет зарегистрированные сигналы на «похожесть» импульсам ЧР. Анализируется затухающий характер зарегистрированного сигнала. Сигнал, имеющий не импульсный характер, фильтруется прибором.

- Метод амплитудного сравнения синхронно зарегистрированных в нескольких фазах трансформатора сигналов с целью выявления первичных импульсов частичных разрядов от дефектов и импульсов, наведенных в рядом расположенных фазах трансформатора. Такие вторичные импульсы обычно имеют пониженную амплитуду.

Корректная регистрация импульсов частичных разрядов – это только первая часть диагностики технического состояния высоковольтной изоляции. Основным вопросом является вопрос об опасности выявленных частичных разрядов.

В состав программного обеспечения прибора «TDM-35S» входит автоматизированная экспертная система PD-Expert, целью работы которой является выявление типа дефекта в изоляции и оценка степени его развития. В этой экспертной системе при помощи диаграмм распределения частичных разрядов, таких как PD-Cloud (время-частотное распределение импульсов) и PRPD (амплитудно-фазо-частотное распределение импульсов), формируется образ дефекта, его диагностические признаки. Далее производится сравнение образа выявленного дефекта с имеющейся базой стандартных образов дефектов в изоляции и принимается решение о типе дефекта в изоляции контролируемого трансформатора.

Благодаря этому определяется не только тип дефекта и степень его развития, а поскольку PD-Expert работает в составе системы мониторинга, автоматически определяется скорость его развития. Информации такого объема обычно достаточно для принятия обоснованного решения о возможности дальнейшей эксплуатации изоляции контролируемого высоковольтного оборудования.

4.1.1. 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

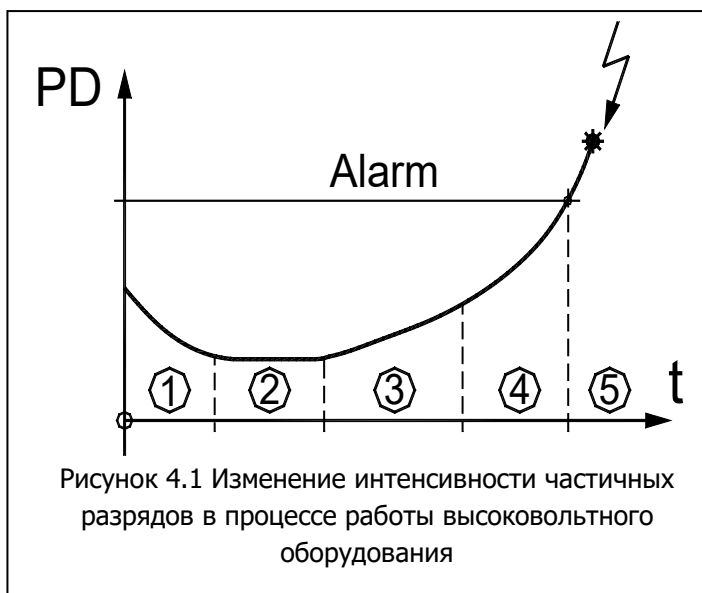
удалении от первичного устройства контроля, будут иметь различные частотные свойства.

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.

Для более полного анализа нескольких параметров частичных разрядов можно перейти от двухмерной плоскости к трехмерной, введя дополнительно в рассмотрение фазы (времени) возникновения импульсов, откладывая их по оси Z. Данное распределение называется в системе мониторинга «PD-Cloud».

Импульсы одной природы и места возникновения будут сосредоточены на «PD-Cloud» плоскости в одной локальной зоне. Эти диаграммы позволяют еще более эффективно разделять зарегистрированные импульсы частичных разрядов по природе и месту их возникновения, отделять их от помех.

4.1.2. Анализ изменения интенсивности частичных разрядов в процессе эксплуатации оборудования



На рисунке 4.1 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 4.1 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.

4.1.3. Общие вопросы нормирования частичных разрядов

Существующие мировые и отечественные стандарты и рекомендации описывают способы измерений и калибровки частичных разрядов (ЧР) и не касаются конкретных значений нормирования уровней разрядной активности для различного высоковольтного электротехнического оборудования. Имеющиеся в этих стандартах рекомендации (!) по допустимым уровням ЧР носят настолько общий характер, что чаще всего не могут быть применены на практике.

Причина такого обобщенного подхода очевидна. Используемое в эксплуатации оборудование настолько различается между собой по конструкции, примененным изоляционным материалам, величине рабочего напряжения, величинам импульсных перенапряжений, условиям эксплуатации и т.д., что реально допустимые значения параметров частичных разрядов могут отличаться для различного оборудования на несколько порядков.

Появление частичных разрядов в изоляции силового трансформатора, контролируемого системой мониторинга, всегда является тревожным признаком. Более 90% всех дефектов в высоковольтной изоляции сопровождается частичными разрядами различного уровня, частоты и фазо-временного распределения.

Первым достоверным и самым важным признаком появления дефектов в высоковольтной изоляции является сам факт появления частичных разрядов, имеющих значимую амплитуду (достоверно!!!) регистрируемых системой мониторинга.

В силу ряда причин, часть которых уже перечислена выше, амплитуда частичных разрядов не используется в качестве основного нормируемого диагностического параметра состояния высоковольтной изоляции. Амплитуда разрядов не только зависит от

особенностей конструкции оборудования, но и связана с целым рядом методических причин и особенностей анализа.

- В оценке технического состояния изоляции всегда используются не единичные высокочастотные разряды, чаще всего являющиеся импульсами внешних помех, а только периодически повторяющиеся импульсы, появление которых связано с фазой приложенного напряжения. Именно наличие повторяющихся импульсов является признаком появления дефектов. Причем амплитуда этих повторяющихся импульсов от одного и того же дефекта в изоляции может различаться в несколько раз.

- Достаточно часто развитие дефекта в изоляции сопровождается не увеличением амплитуды отдельных импульсов частичных разрядов, а увеличением их количества. Поэтому, отслеживая амплитуду импульсов, обычно не удается правильно оценить степень развития того или иного дефекта, то есть его опасность.

- Вследствие того, что разрушение изоляции происходит от энергии, которую выделяют частичные разряды, самым важным диагностическим параметром для диагностики дефектов является интенсивность частичных разрядов, которую чаще всего определяют как параметр PDI (Partial Discharge Intensity). Упрощенно говоря, параметр PDI можно определять (пропорционально) как сумму амплитуд всех зарегистрированных импульсов частичных разрядов. Энергия, выделяемая несколькими разрядами большой амплитуды, достаточно часто бывает меньше энергии, которую выделит большое количество разрядов существенно меньшей амплитуды. Это еще один аспект вопроса, почему амплитуду импульсов частичных разрядов нельзя использовать в качестве основного диагностического параметра.

Любой дефект технического состояния изоляции представляет опасность для эксплуатации оборудования в том случае, если реально имеет место его развитие, выражающееся или в расширении дефектной зоны, или же в дальнейшем качественном ухудшении состояния изоляции. Если дефект в изоляции носит стационарный характер, зона его локализации не увеличивается, то такой дефект чаще всего не представляет опасности для дальнейшей эксплуатации оборудования.

Если же системой мониторинга выявляется развитие дефекта, выражающееся в постепенном (иногда скачкообразном) увеличении амплитуды или интенсивности (PDI) регистрируемых частичных разрядов, т. е. присутствует временной тренд (trend – общее направление, тенденция), то это всегда отрицательно сказывается на прогнозах дальнейшей эксплуатации оборудования. Причем чаще всего практически не важно, с какого уровня частичных разрядов начался рост. Важным является интенсивность этого процесса, важен сам факт разрастания и деградации изоляции в зоне дефекта.

Анализ тренда параметров ЧР позволяет на ранней стадии диагностировать развитие дефекта в изоляции. При выявлении положительного тренда ЧР важным для принятия решения о дальнейшей работе оборудования является определение типа дефекта и локация источника разрядной активности. Если на интервале одного года интенсивность частичных разрядов выросла в 5 – 10 раз и более, то это всегда очень серьезный признак наличия развивающегося и опасного дефекта в изоляции.

Очень важно понимать, что дефекты в изоляции, приводящие к появлению частичных разрядов в высоковольтном оборудовании, различаются по степени своей опасности. Не всегда наличие частичных разрядов, даже имеющих явно выраженный рост с течением времени (наличие временного тренда), говорит о необходимости ограничивать эксплуатацию трансформаторного оборудования. Разные типы дефектов по-разному влияют на работу трансформаторов.

Наиболее важным является определение места возникновения дефекта в силовом трансформаторе. Возможных мест возникновения частичных разрядов достаточно много:

- Обмотки трансформатора. Внутри обмоток трансформатора частичные разряды возникают достаточно редко, что обусловлено особенностями их конструкции: наличием достаточно больших зазоров, заполненных маслом, и небольшой разностью потенциалов между отдельными витками и слоями обмотки.

Разряды между разными обмотками трансформатора (одной фазы) возникают также достаточно редко, так как в этом случае им препятствуют еще большие зазоры, заполненные маслом.

Встречаются случаи, когда частичные разряды возникают между витками обмотки и элементами конструкции трансформатора. Но и это бывает редко и только у тех силовых трансформаторов, конструкция которых имеет очевидные конструктивные дефекты и уменьшенные зазоры.

Если все же частичные разряды в обмотках возникают, то они являются достаточно опасными, особенно если наблюдается их развитие. Диагностический образ этих дефектов соответствует основным двум типам разрядов: «разряд с высоковольтного электрода» и «разряд с земляного электрода». Появление разрядов в обмотках всегда коррелирует с анализом растворенных в масле газов.

- Сердечник трансформатора, магнитные шунты и конструктивные элементы.

В этой сложной системе частичные разряды возникают достаточно часто, что обусловлено различными механическими и гальваническими ослаблениями, разряды обычно имеют достаточно большую интенсивность.

Наиболее часто диагностический образ дефектов в механической системе трансформатора соответствует типам «разряд с высоковольтного электрода», «разряд с земляного электрода» и особенно часто «плавающий потенциал». Практически всегда эти дефекты подтверждаются анализом растворенных газов.

Чаще всего эти дефекты не опасны для эксплуатации трансформаторов. Они могут наблюдаться системами мониторинга несколько лет до наступления времени планового ремонта трансформатора. Важно, чтобы не было интенсивного роста этих разрядов во времени.

- Зона подключения вводов «косичкой» к обмоткам трансформаторов.

В этой зоне могут возникать частичные разряды, имеющие образ «разряд с высоковольтного электрода». Эти разряды чаще всего замыкаются по разделительным перегородкам из картона, имеющимся у некоторых конструкций трансформаторов. Наличие частичных разрядов обычно подтверждается результатами анализа растворенных в масле газов.

Данный дефект является опасным.

Высоковольтные вводы.

Дефекты в изоляции вводов достаточно надежно диагностируются частичными разрядами. Особенно важно это для вводов с твердой изоляцией, для которых появление частичных разрядов всегда (и на самой ранней степени развития дефекта) говорит о появлении и развитии опасных дефектов на интервале между двумя обкладками. Анализ растворенных газов в масле бака трансформатора не реагирует на такой дефект.

Чаще всего после появления частичных разрядов дефектный изоляционный промежуток внутри ввода «перекрывается» через 0,5 – 6 месяцев, иногда и быстрее.

Диагностический образ дефектов в изоляции вводов – «разряд внутри изоляции».

4.1.4. Дополнительные признаки ЧР, выявляемые в ХАРГ анализе масла

Альтернативный способ анализа наличия частичных разрядов в силовых трансформаторах – анализ хроматографического анализа растворенных газов (ХАРГ) в масле трансформаторного оборудования.

Для частичных разрядов в баке трансформаторного оборудования характерно появление водорода, а при искровых разрядах – ацетилена. Наличие роста водорода или ацетилена предполагает наличие источника разрядной активности внутри бака трансформатора.

Для локации источника разрядной активности необходимо использовать измерение ЧР на поверхности бака акустическим методом. Акустические датчики производят измерения строго направленно. Проведение измерений одним акустическим датчиком на всей поверхности бака трансформатора позволяет обнаружить зоны разрядной активности внутри бака.

Если зоны разрядной активности находятся не в зоне обмоток трансформатора, то для определения возможного источника достаточным может оказаться анализ конструкции оборудования. Если источник разрядов находится в зоне обмоток или анализ конструкции не позволяет однозначно определить возможный источник ЧР, необходимо провести локацию при помощи 4-х акустических датчиков. При достаточном уровне сигнала локация при помощи 4-х датчиков позволяет с хорошей точностью определить зону источника ЧР.

Отсутствие роста водорода или ацетилена в ХАРГ масле позволяет с определенной уверенностью (но не полностью) исключить частичные разряды в баке трансформаторного оборудования.

Следующим потенциально опасным элементом являются высоковольтные вводы. ЧР в высоковольтном вводе являются активными потерями и должны сказываться на росте тангенса данного ввода. Заметный рост тангенса и появление температурной зависимости тангенса характерно для вводов с бумажно-масляной изоляцией. Дефект во вводах с твердой изоляцией может не сопровождаться изменением тангенса или это изменение быть очень незначительным. Это связано с тем, что зона дефекта может быть очень малой по объему, и потери будут незначительными. Тем более изменение тангенса не будет заметно при проведении испытаний напряжением 10 кВ.

Наличие ЧР и рост их интенсивности в высоковольтном вводе с твердой изоляцией является потенциально опасным и может привести к перекрытию обкладок высоковольтного ввода или пробой. Перекрытие обкладок сопровождается увеличением амплитуды тока утечки соответствующего ввода и появлению небаланса токов проводимости. Пробой одной обкладки, в зависимости от конструкции ввода, увеличивает ток утечки от 2 до 10%. Для вводов с твердой изоляцией в среднем это значение порядка 5%. При таком изменении тока система КИВ может не сработать даже на предупреждение. Но эти изменения будут четко зафиксированы приборами мониторинга изоляции вводов. Причем интенсивность ЧР при перекрытии обкладок значительно уменьшается в связи с отсутствием источника ЧР.

Информация о предприятии-изготовителе

ООО «ДИМРУС» (г. Пермь)

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

Россия, 614500, Пермский край,
д. Ванюки, Шоссейный въезд, д.2

Тел.: (342) 212-23-18, 212-91-93

Адрес в интернете: <http://dimrus.ru>

е-mail: dimrus@dimrus.ru