

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

TDM

EAC

Модуль регистрации частичных разрядов в UHF
диапазоне частот

**PD Monitor UHF
M4.1**

Руководство по эксплуатации

ВЦ.411728.031 РЭ

Оглавление

1. Техническое описание.....	3
1.1. Назначение	3
1.2. Основные технические параметры.....	3
1.3. Первичные устройства контроля	3
1.4. Светодиодная индикация	4
1.5. Общее описание работы.....	4
2. Настройка параметров	4
2.1. Конфигурация модуля	4
2.1.1. Вкладка «Параметры прибора»	4
2.1.2. Вкладка «Регистрация ЧР»	5
2.1.3. Вкладка «Пороги ЧР»	6
2.1.4. Вкладка «Доп. параметры»	7
2.2. Сохранение параметров	8
3. Алгоритмы работы.....	8
3.1. Алгоритмы изменения частичных разрядов	8
3.1.1. Анализ частотных свойств ЧР	11
3.1.2. Анализ изменения интенсивности ЧР.....	13
3.1.3. Общие вопросы нормирования ЧР	14
3.1.4. Дополнительные признаки ЧР, выявляемые в ХАРГ анализе масла	16
3.1.5. Общий алгоритм анализа и локации дефектов	17

1. Техническое описание

1.1. Назначение

Модуль «PD Monitor UHF» (M4.1) (далее – модуль) – предназначен для регистрации импульсов от частичных разрядов (далее – ЧР) в сверхвысокочастотном диапазоне (UHF) внутри бака трансформатора.

Модуль работает и монтируется в монтажном шкафу в составе системы мониторинга и диагностики трансформаторного оборудования «TDM»

1.2. Основные технические параметры



1. Измерительные входы				
№	Наименование	Тип	Диапазон	Кол-во
1	ЧР, канал PD	Антенна	0.4 ÷ 1,5 ГГц	6 шт.
2. Индикаторы на лицевой панели				
№	Наименование	Цвет		
1	Alarm (Авария)	Красный		
2	Status (Состояние)	Зеленый		
3. Информационные каналы связи				
№	Наименование	Примечание		
1	Интерфейс USB	Сервисные программы		
2	Интерфейс RS485	Внутренняя шина		

1.3. Первичные устройства контроля

С модулем могут использоваться различные электромагнитные антенны, встраиваемые в бак трансформатора, учитывающие конструктивные особенности контролируемого трансформатора. Например, встроенные СВЧ-Антенны марки «AES-T» (Антенна данного типа монтируется внутри бака трансформатора, обычно на внутренней стороне крышек технологических люков).

Использование метода регистрации импульсов частичных разрядов в сверхвысокочастотном диапазоне частот для силовых маслонаполненных трансформаторов имеют очевидные достоинства:

- Модуль регистрирует частичных разрядов внутри бака трансформатора при помощи встроенных датчиков. Благодаря такому расположению датчиков уровень внешних помех очень низкий, так как металлический корпус бака трансформатора является хорошим экраном;
- Регистрация частичных разрядов производится в сверхвысокочастотном (UHF) диапазоне частот, поэтому модуль M4.1 практически не чувствителен к сигналам коронных разрядов, уровень которых в высоковольтном оборудовании очень высок. Это происходит потому, что частота коронных разрядов сравнительно невысока и обычно не превышает 100 – 200 МГц.

Благодаря этим двум причинам модуль имеет очень высокую чувствительность к импульсам частичных разрядов, что дает возможность выявлять дефекты в изоляции трансформатора на самых ранних стадиях развития, когда другие диагностические

методы, например, широко применяемый контроль концентрации растворенных в масле газов не показывает даже признаков дефектов.

1.4. Светодиодная индикация

На лицевой панели модуля располагается два сигнальных светодиода, отображающие работу модуля:

- Status - показывает состояние модуля;
- Alarm - показывает состояние изоляции трансформаторного оборудования.

1.5. Общее описание работы

Прибор включается сразу после подачи питания. При подключении 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 ЧР и их анализ происходит непрерывно.

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

2. Настройка параметров

Настройка параметров модуля может осуществляться из отдельных программ (типа iNVA Portable, TDM Service) с компьютера через сервисный порт USB при помощи ПО iNVA по локальной шине системы мониторинга «TDM».

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

2.1. Конфигурация модуля

После считывания настроек модуля на экране появится окно, состоящее из 4-х вкладок.

2.1.1. Вкладка «Параметры прибора»

На вкладке «Параметры прибора» находятся общие параметры прибора: параметры связи, место установки модуля, планировщик.

Конфигурация прибора #25 (TDM-3F)

Параметры прибора

Регистрация ЧР

Пороги ЧР

Доп.параметры

Заводской номер прибора

25

Часовой пояс

GMT

часов

:00

мин.

RS485

MODBUS-адрес прибора

25

Скорость бит/сек

115200

Четность

NONE 1stop

Протокол обмена

MODBUS RTU

Ethernet

IP

192

.

168

.

0

.

192

Net mask

255

.

255

.

255

.

0

Gateway

0

.

0

.

0

.

0

Протокол обмена

MODBUS RTU

Передача данных "Ethernet <-> RS485"

Разрешить передачу данных для подключенных приборов

Подключены приборы с адреса

255

до адреса

255

Отключить измерение ЧР

Место установки прибора

Подразделение

Подстанция

Трансформатор

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

15

день

Записать в прибор

Закрыть

Загрузить

Сохранить

Рисунок 2.1.

- параметры прибора и места установки (заводской номер, место установки, часовой пояс);
- параметры передачи данных (параметры RS485, Ethernet, шлюз передачи данных Ethernet<-> RS485);
- планировщик расписания сохранения данных измерений и тип сохраняемых данных.

2.1.2. Вкладка «Регистрация ЧР»

На вкладке «Регистрация ЧР» сосредоточены параметры измерений ЧР.

Конфигурация прибора #25 (TDM-3F)

Параметры прибора Регистрация ЧР Пороги ЧР Доп.параметры

Общие параметры измерения ЧР

Синхронизация измерений: **нет**

Синхр. с частотой сети: **по питанию** 50 Гц Измерять: 50 периодов сети Сдвигать фазу на: 90

Время регистрации импульса: 1280 нс Пауза после импульса ЧР: 1280 нс Дополнительное усиление ВЧ(UHF) канала: 1 раз(a)

Частотный диапазон ЧР для каналов: 1 - 3 **HF** 4 - 6 **HF**

☒ Автотриггерование Настроить »

☐ Постоянный мониторинг ЧР Настроить »

Параметры измерения ЧР по каждому каналу

Набор вводов 1: ☒ **A1** ☒ B1 ☒ C1 Набор вводов 2: ☒ A2 ☒ B2 ☒ C2

Общие параметры канала: Чувствительность: 10,00 нКл/В Фаза датчика: A

Параметры работы фильтров ЧР

Фильтрация перенаводки с канала на канал и помехи (по амплитуде)

☐ Использовать амплитудную фильтрацию для устранения перенаводки и помехи

Уровень амплитуды для сравнения между каналами: 70 % (по умолчанию 70)

Фильтрация "Коронных" разрядов

☐ Использовать фильтр "Коронных" разрядов

Фазовое окно для работы фильтра (0-360) от: 0 до: 0 гр.

Фильтровать импульсы с амплитудой более: 50 % от максимальной (по умолчанию 50)

СВЧ (UHF) Фильтр

☐ Фильтровать импульсы не СВЧ (UHF) диапазона

Записать в прибор

Закрыть

Загрузить

Сохранить

Рисунок 2.2.

- Базовая синхронизация – источник синхронизации измерений между различными приборами (GPS, Оптические каналы связи между приборами или отсутствие синхронизации между приборами);
- Внутренняя синхронизация – источник синхронизации зарегистрированных импульсов с частотой промышленной сети (канал A1 по умолчанию);
- Выбор диапазонов частот для измерения – HF (0,5 – 20 МГц) или UHF (300 – 1500 МГц) или совместно;
- Включенные в регистрацию каналы (подключенные датчики), чувствительность канала, фаза установленного датчика;
- Параметры фильтрации импульсов.

2.1.3. Вкладка «Пороги ЧР»

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

Конфигурация прибора #25 (TDM-3F)

Параметры прибора

Регистрация ЧР

Пороги ЧР

Доп.параметры

Граничные значения параметров

Границы уровней PDI и Q02 канала

A1

✓ Все

✓ Считать

Пороги состояния по мощности импульсов (PDI)

Включить

Предельные значения состояний для канала A1

Уровень ухудшенного состояния

3

мВт

Уровень предаварийного состояния

10

мВт

Пороги состояния по амплитуде импульса (Q02)

Включить

Предельные значения состояний для канала A1

Уровень ухудшенного состояния

500

нКл

Уровень предаварийного состояния

5000

нКл

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 »

Записать в прибор

✗ Закрыть

Загрузить

Сохранить

Рисунок 2.3.

2.1.4. Вкладка «Доп. параметры»

На вкладке «Доп. параметры» настраиваются коэффициенты преобразования трансформаторов тока и датчика влажности в соответствии с паспортными данными.

Рисунок 2.4.

Данные параметры не входят в основную комплектацию модуля и могут быть предоставлены по дополнительному заказу.

2.2. Сохранение параметров

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. 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.

3.1. Алгоритмы изменения частичных разрядов

Модуль 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.

Модуле 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.

- Метод фильтрации импульсов «коронных разрядов». В модуле реализована уникальная схема отстройки от импульсов коронных разрядов, интенсивность которых в высоковольтных трансформаторах обычно на порядки превышает интенсивность частичных разрядов, что снижает достоверность работы обычных приборов до недопустимо низкого уровня. Принцип действия этой схемы отстройки от импульсных помех иллюстрируется при помощи рисунка 3.1, на котором приведена функциональная схема работы прибора.

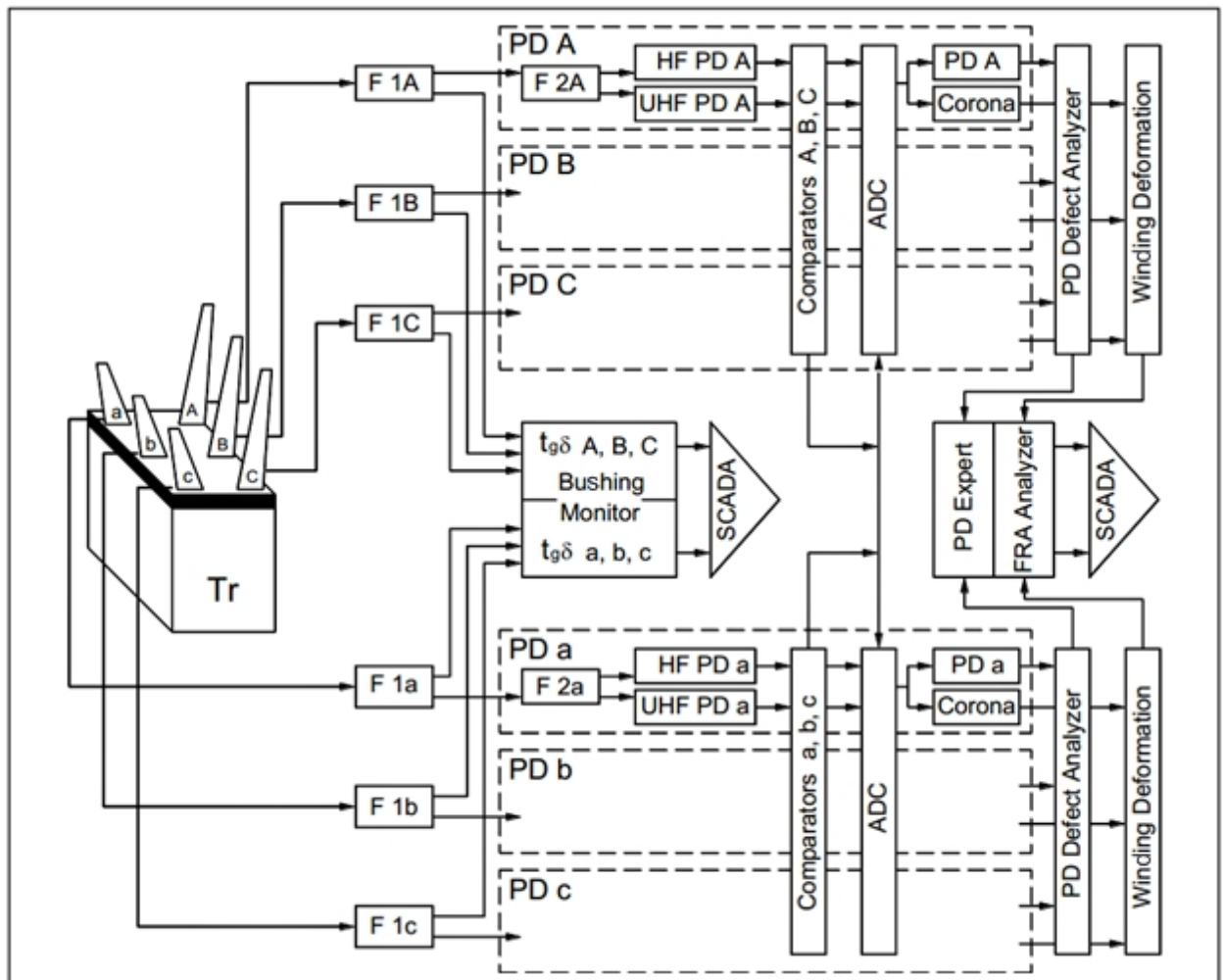


Рисунок 3.1. Функциональная схема работы модуля

В фильтре F1, который устанавливается на входе каждого из 6 измерительных каналов прибора, производится разделение токов проводимости вводов, имеющих промышленную частоту, и импульсных высокочастотных сигналов. Токи проводимости изоляции вводов используются в подсистеме контроля технического состояния высоковольтных вводов, а высокочастотные импульсы подаются на следующий фильтр F2, где происходит разделение входных импульсов по частоте на две группы: высокочастотные и сверхвысокочастотные. Высокочастотные импульсы (HF), имеющие частоту до 20 МГц, подаются в один измерительный канал, а сверхвысокочастотные импульсы (UHF) с частотой 0,3 – 1,5 ГГц подаются в другой измерительный канал прибора.

Такие нестандартные диапазоны частот для двух измерительных каналов модуля применительно к трансформаторному оборудованию выбраны по нескольким техническим причинам.

Во-первых, это, конечно, связано с особенностями возникновения частичных разрядов в трансформаторном оборудовании. Трансформатор является сложным электромагнитным аппаратом, обладающим значительными габаритными размерами. Поэтому «из трансформатора» наружу к измерительным датчикам без значительного затухания распространится только сравнительно низкочастотные импульсы с частотой не более 10 – 15 МГц. Именно из этого условия выбраны частотные параметры основного измерительного канала HF каждой фазы прибора.

Во-вторых, импульсы коронных разрядов, являющиеся помехами, также ограничены по частоте. Импульсы от коронных разрядов на положительной волне приложенного рабочего напряжения из-за своей сравнительно большой мощности обычно располагаются в диапазоне частот до 100 МГц. Обычно, чем мощнее импульс, тем ниже его частота. Импульсы коронных разрядов, возникающие на отрицательной полуволне питающего напряжения, имеют существенно меньшую мощность. В результате их максимальная частота заметно выше и может располагаться в диапазоне частот даже до 300 МГц. Таким образом, если мы хотим гарантированно исключить из регистрации импульсы коронных разрядов, то «чистый канал» регистрации частичных разрядов должен работать в диапазоне частот от 300 МГц и выше.

Важным является так же методический аспект данной проблемы. Мы можем уверенно регистрировать импульсы частичных разрядов в диапазоне UHF, отстраиваться от практически любых помех, но в этом диапазоне мы не можем правильно определить уровень зарегистрированных частичных разрядов, т.е. мы не можем корректно определить их амплитуду, соответственно, правильно оценить опасность выявленного дефекта. Причина этого проста. При регистрации сигналов в диапазоне UHF мы используем в основном электромагнитные пути распространения сигналов, регистрируя электромагнитное излучение от частичного разряда. Соответственно, мы не можем правильно откалибровать измеряемые импульсы по амплитуде, привести их к размерности заряда по нескольким причинам. Мы можем инжектировать внутрь трансформатора тестовые электромагнитные импульсы, а также не знаем удаление зоны дефекта от нашего датчика, не знаем величину внутреннего затухания.

Можно хорошо регистрировать импульсы частичных разрядов в UHF диапазоне частот, но нельзя провести их метрологическую оценку. И наоборот, можно хорошо калибровать импульсы в HF диапазоне частот, но здесь очень низка помехозащищенность всей процедуры регистрации импульсов частичных разрядов.

В модуле реализована концепция синхронной одновременной регистрации импульсов частичных разрядов в двух диапазонах частот HF и UHF. Для этого используется сигнал с одного универсального входного датчика, но он разделяется на две составляющие при помощи частотно зависимого фильтра F2, каждая из которых усиливается и измеряется в своем канале.

Алгоритм верификации входных импульсов при двухканальной регистрации сигналов следующий. Если высокочастотный импульс одновременно зарегистрирован в двух измерительных каналах, работающих в разных диапазонах частот, значит, это импульс от частичного разряда, и его необходимо использовать для анализа состояния изоляции трансформатора. Калибровка этого импульса производится по каналу HF.

Если же высокочастотный импульс от первичного датчика регистрируется только в канале HF, а в канале UHF импульс отсутствует, то это, скорее всего, коронный разряд, не имеющий отношения к диагностике состояния изоляции или помеха другой причины возникновения, например, пришедшая из сети. Такой импульс может быть использован только для анализа деформаций обмоток трансформатора, возникающих после воздействия электродинамических нагрузок на обмотки.

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 модуля 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.

3.1.1. Анализ частотных свойств ЧР

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.

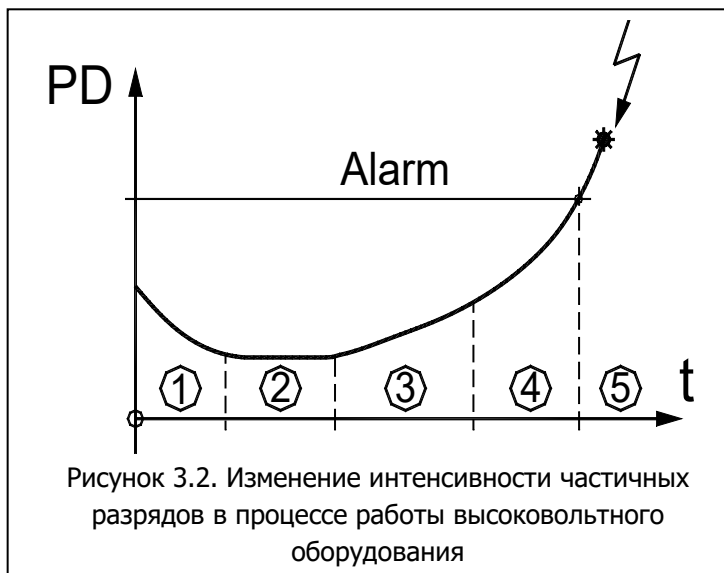
Для более полного анализа нескольких параметров частичных разрядов можно перейти от двухмерной плоскости к трехмерной, введя дополнительно в рассмотрение фазы (времени) возникновения импульсов, откладывая их по оси Z. Данное распределение называется в системе мониторинга «PD-Cloud».

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.

3.1.2. Анализ изменения интенсивности ЧР

На рисунке 3.2. 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 3.2. 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 растёт интенсивность, тем более опасными являются эти разряды для изоляции контролируемого оборудования.

3.1.3. Общие вопросы нормирования ЧР

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».

3.1.4. 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, увеличивается 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.

3.1.5. Общий алгоритм анализа и локации дефектов

1. Анализ изменений интенсивности ЧР.
2. При увеличении интенсивности ЧР – анализ ХАРГ и изменений концентрации водорода и ацетилена.
3. Поведение диагностики в системе PD-Expert.
4. При увеличении концентраций водорода или ацетилена – акустическая локация источника ЧР внутри бака.
5. При отсутствии водорода или ацетилена в ХАРГ и тренда на их увеличение – анализ изменений тангенса и температурной зависимости токов утечки ввода с бумажно-масляной изоляцией и дополнительный контроль за изменениями амплитуды токов утечки и изменением емкости C1 высоковольтного ввода. Измерение ЧР в СВЧ (UHF) диапазоне при помощи направленной антенны.
6. При отсутствии подтверждений наличия ЧР, согласно п. 2-5, – использование специальных ультрафиолетовых регистраторов для локации ЧР снаружи трансформатора.

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>

e-mail: dimrus@dimrus.ru