Переносной прибор R2200 для регистрации и анализа частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования

ООО «DIMRUS»

www.dimrus.ru

Прибор марки R2200 – возможность оперативного измерения частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования

При помощи переносного прибора R2200 можно проводить измерения частичных разрядов в изоляции различных типов электротехнического оборудования – трансформаторах, кабельных линиях, высоковольтных электрических машинах, и т. д.

Такие диагностические работы могут выполняться как в процессе эксплуатации в целях оценки текущего технического состояния изоляции, так и при проведении приемочных испытаний высоковольтного оборудования.

В стандартную поставку прибора R2200 включены комплект первичных датчиков и калибровочное оборудование, состав которого достаточен для проведения замеров частичных разрядов в большинстве практических условий.

Комбинированное питание прибора как от питающей сети, так и от встроенного аккумуляторного, прочный металлический корпус, значительно расширяют сферу применения прибора, особенно в «полевых» условиях.

Наличие сертификатов и нормативных заключений, полученных фирмой «DIMRUS», на измерительный прибор марки R2200

Переносной прибор марки R2200 прошел все экспертные испытания и имеет необходимую разрешительную документацию:

1. Сертификат соответствия требованиям нормативной документации в системе ГОСТ Р.

2. Декларацию о соответствии требованиям российских стандартов по безопасности и электромагнитной совместимости.

3. Прибор прошел метрологические испытания в ФГУП «ВНИИМС» на утверждение типа измерительного прибора и имеет «Свидетельство об утверждении типа средств измерения». Данное свидетельство определяет его как прибор для регистрации высокочастотных импульсов.

4. Проведение достоверных измерений частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования прибором R2200 возможно только при использовании сертифицированного генератора тестовых импульсов, предназначенного для калибровки измерительных цепей прибора, проводимой на месте совместно с объектом контроля. В состав поставки прибора R2200 включен калибровочный генератор марки GKI-2, также сертифицированный в ФГУП «ВНИИМС».

Комплект поставки универсального 9-канального прибора марки R2200 для регистрации частичных разрядов в изоляции

Переносной прибор измерения частичных разрядов R2200 поставляется в прочном транспортном кейсе на колесиках, имеющем удобную ручку для перемещения.

В поставку входит измерительный прибор R2200, стандартный набор датчиков измерения частичных разрядов, калибровочный генератор, комплект соединительных проводов, необходимая техническая документация.

В комплектацию прибора также входит CD с программным обеспечением для хранения и обработки информации на компьютере.

Если предполагается проведение измерений частичных разрядов в специальных условиях, то прибор может дополнительно по согласованию с Заказчиком комплектоваться набором дополнительных измерительных датчиков. Это могут быть высоковольтные конденсаторы связи, датчики для измерения частичных разрядов в трансформаторах, датчики для измерения поверхностных токов, электромагнитные антенны. Также возможно изготовление датчиков по специальному заказу.

Полный набор технических средств, позволяющий при помощи прибора R2200 проводить практически любые измерения

В поставку прибора R2200 входит минимально необходимый набор технических средств для проведения измерений частичных разрядов в большинстве практических случаев.

Все используемые с прибором измерительные датчики, а также калибровочный генератор GKI-2, производятся фирмой «DIMRUS».

Поставляемые с прибором R2200 измерительные датчики имеют защитную изоляцию до 1000 вольт, поэтому они должны монтироваться в цепях заземления, или находящихся под невысоким потенциалом. Для проведения измерений под высоким потенциалом необходимо использование специализированных датчиков, поставляемых по заказу, прошедших необходимые испытания.

Подключение первичных датчиков к прибору производится коаксиальным кабелем длиной 6 метров. По заказу возможна поставка соединительных кабелей большей длины - до 50 метров.

Технические характеристики прибора R2200 для регистрации частичных разрядов в изоляции оборудования

№	Параметр	Значение
1	Количество каналов для измерения ЧР	9
2	Диапазон частот измеряемых разрядов	0,5 – 15,0 МГц
3	Динамический диапазон регистрируемых ЧР	70 dB
4	Синхронизация регистрации импульсов ЧР	Внутренняя - Внешняя
5	Разрешение цветного экрана прибора, точек	480 * 640
6	Интерфейс для связи с компьютером	USB
7	Диапазон рабочих температур прибора	-20 +40 С
8	Время работы от встроенного аккумулятора, ч	5
9	Масса прибора, без датчиков, кг	3,5
10	Габаритные размеры транспортного кейса, мм	520*430*220
11	Масса комплекта в транспортном кейсе, кг	21,5

По согласованию с Заказчиком прибор и специализированное программное обеспечение для персонального компьютера могут быть поставлены на русском, английском и китайском языках.

Методическое сопровождение при продаже и эксплуатации переносного прибора R2200

В комплектацию прибора R2200 входит необходимый комплект технической документации, достаточный для эффективного проведения измерений частичных разрядов.

Он включает в себя:

- Комплект сертификатов и паспортов на сам прибор, датчики и калибровочный генератор.

- Руководство пользователя прибора и программного обеспечения для компьютера на бумажном носителе.

- Для повышения оперативности работы в приборе реализована контекстно–зависимая функция помощи, оперативно активируемая нажатием одной клавиши «Help».

- Монография «Измерение частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования», автор Русов В.А. В ней достаточно подробно описаны основные методические и технические проблемы, которые приходится решать при диагностике состояния изоляции высоковольтного оборудования всех основных типов.

R2200 - мощный и компактный переносной измерительный прибор, обладающий набором уникальных функций

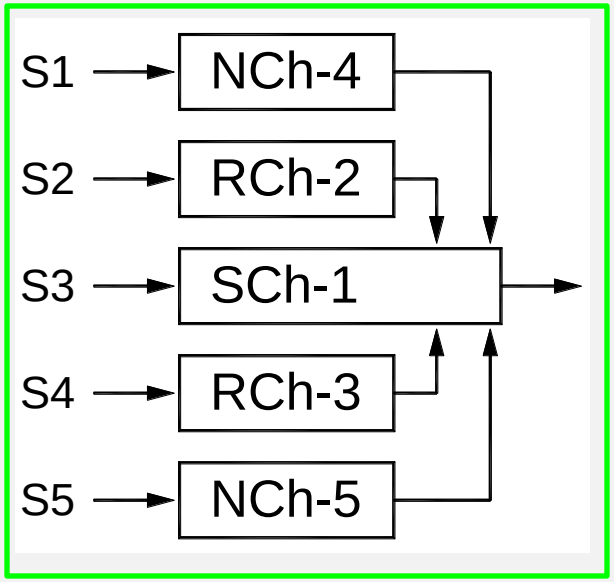
Измерительный прибор R2200 создан на основе современного высокоскоростного микропроцессора, обладает расширенными вычислительными возможностями, имеет большой цветной экран, пленочную клавиатуру.

Наличие девяти входных каналов позволяет проводить измерения частичных разрядов в самом сложном высоковольтном оборудовании. Для повышения достоверности проведения измерений прибор обладает уникальным встроенным набором средств для защиты от высокочастотных помех.

Для повышения информативности выполняемых замеров частичных разрядов в высоковольтной изоляции в приборе предусмотрено несколько способов синхронизации проводимых измерений с фазой питающей сети.

Конфигурация проведения измерений частичных разрядов может быть создана «на месте» или заранее и загружена в прибор с компьютера. Таких конфигураций может быть загружено необходимое количество. Это позволяет реализовать маршрутную технологию проведения замеров частичных разрядов.

Принципиальная схема работы прибора R2200 для регистрации частичных разрядов в изоляции



В приборе R2200 используется одновременная 5-канальная регистрация высокочастотных импульсов, поступающих от первичных датчиков:

- «SCh-1» - основной сигнальный канал прибора, предназначенный непосредственно для регистрации импульсов частичных разрядов.

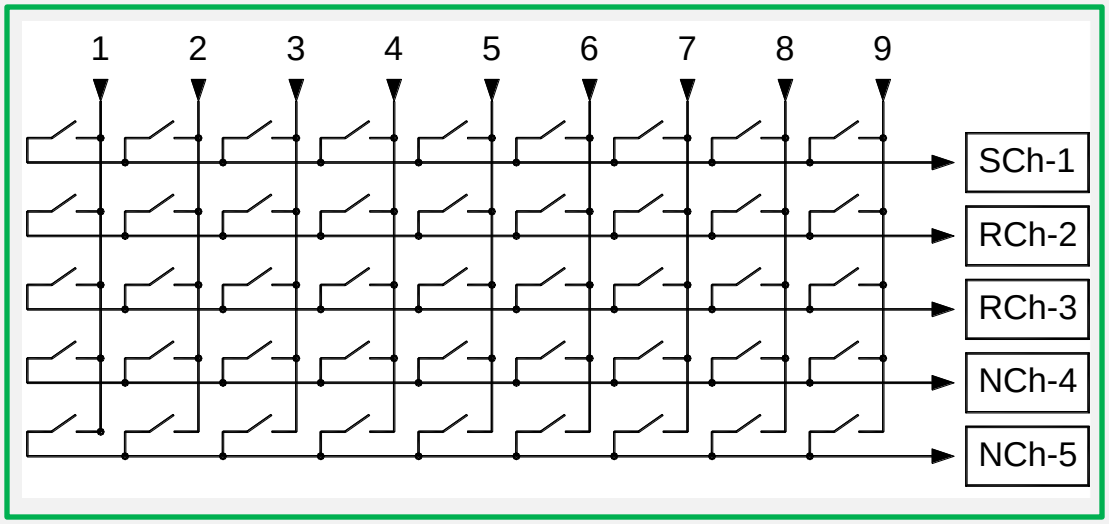
- «RCh-2» и «RCh-3» - референсные или опорные каналы, предназначенные для реализации фазовой и временной разборки импульсов.

- «NCh-4» и «NCh-5» - шумовые или «помеховые» каналы, предназначенные для амплитудной отстройки от импульсов высокочастотных помех.

Регистрация частичных разрядов всегда производится по каналу «1», остальные четыре канала выполняют вспомогательные функции борьбы с внешними и внутренними помехами.

Синхронная регистрация импульсов по 5 каналам позволяет реализовать эффективную отстройку от импульсов внешних помех еще «на аппаратном уровне», которая работает в режиме реального времени.

Программно управляемая конфигурация измерительной схемы при проведении измерений частичных разрядов прибором R2200

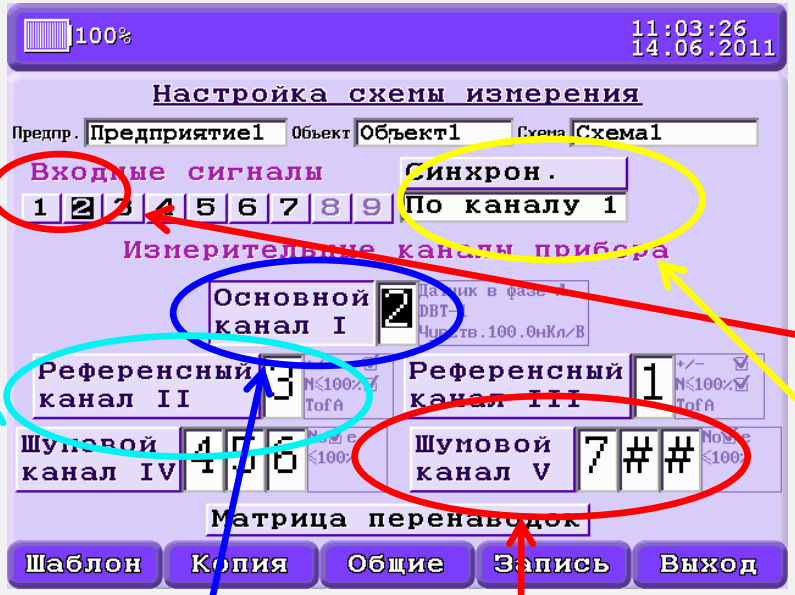


При помощи встроенного в прибор электронного матричного коммутатора, 9 датчиков частичных разрядов оперативно подключаются к 5 измерительным каналам по выбору пользователя.

Текущее положение электронного коммутатора, учитывающее реальное расположение первичных датчиков на оборудовании, и подключение их к 5 измерительным каналам, называется конфигурацией схемы измерения частичных разрядов в высоковольтном оборудовании.

В состав конкретной конфигурации измерительной схемы входит также чувствительность каждого датчика частичных разрядов, определенная в процессе калибровки с учетом затухания в контролируемом объекте. Важными параметрами конфигурации являются абсолютные и относительные значения внутренних порогов измерения, оказывающих большое влияние на точность проводимых измерений ЧР.

Оперативное формирование измерительной конфигурации прибора R2200 в полевых условиях



Пользователь прибора может на месте оперативно сформировать и сохранить необходимую конфигурацию измерений для всех входных измерительных каналов.

Последовательно выбираются:

- Номер входного сигнала, для которого формируется конфигурация.

- Способ синхронизации измерения по данному измерительному каналу с синусоидой питающей сети.

- Номер входного сигнала, по которому будет производится основная регистрация частичных разрядов в контролируемом оборудовании.

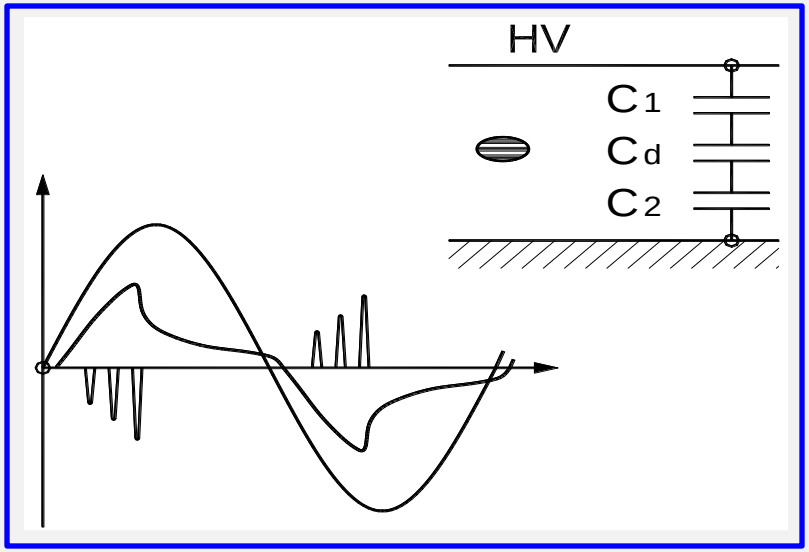
- Номер референсного (опорного) канала, с которым будет происходить сравнение основного канала по полярности и времени прихода импульса.

- Шумовой канал для амплитудного сравнения. К сумматору шумового канала может быть подключено до трех сигналов от разных датчиков.

В одной конфигурации могут быть задействованы все 9 входных сигналов, это максимально возможная конфигурация прибора.

2. Частичные разряды в изоляции высоковольтного оборудования. Причины возникновения. Первичные измерительные датчики

Причины возникновения частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования



Появление частичных разрядов – начальная стадия развития большинства дефектов в высоковольтной изоляции. Возникшие частичные разряды со временем перерастают в искровые и дуговые разряды, приводящие к авариям.

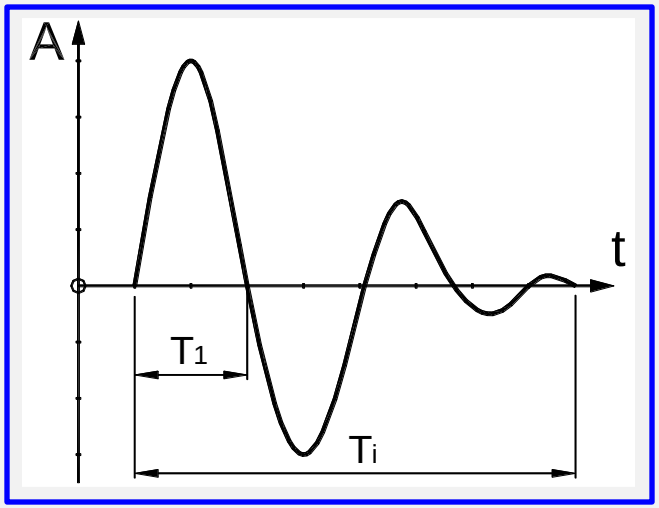
Обычно частичные разряды возникают в полостях и зонах изоляции, имеющих дефекты – посторонние вкрапления, газовые пузырьки, зоны увлажнения.

На участке роста приложенного к зоне дефекта напряжения возникает один или несколько частичных разрядов, приводящих к перераспределению потенциалов внутри объема изоляции.

Если дефект располагается ближе к внешней поверхности изоляции к более высокому потенциалу, то частичных разрядов будет больше на положительной полуволне питающего напряжения и меньше на отрицательной.

Если дефект располагается ближе к «земляному» потенциалу, то наоборот, разрядов будет больше на отрицательной полуволне питающего напряжения.

Частотные и временные параметры импульса частичного разряда в изоляции высоковольтного оборудования



Передний фронт импульса частичного разряда, возникшего непосредственно в зоне дефекта, обычно очень крутой и может длиться единицы и даже доли наносекунды.

Этот «первичный импульс от частичного разряда» возбуждает вокруг зоны дефекта резонансные колебания, частоты которых определяются параметрами среды непосредственно вокруг зоны дефекта.

По мере удаления импульса от зоны возникновения частичного разряда, колебания захватывают все большие окружающие объемы изоляции и конструкции оборудования, которые имеют свои резонансные частотные свойства. В результате этого, в выходном сигнале измерительного датчика в импульсе частичного разряда присутствуют колебания, имеющие очень большой разброс по частоте.

Чем меньше зона возникшего частичного дефекта в изоляции, тем более крутым является передний фронт импульса частичного разряда, тем в более высокочастотной зоне можно обнаружить колебания от импульсов частичных разрядов.

Диагностические возможности измерения частичных разрядов в разных диапазонах частот

Регистрация импульсов частичных разрядов обычно может производиться датчиками трех типов, которые различаются рабочим диапазоном частот:

- Низкочастотный диапазон (LF), захватывающий частоты до сотен кГц. Обычно это акустические и акустико – эмиссионные датчики.

- Высокочастотный диапазон (HF), занимающий частоты до десятков МГц. В этом диапазоне используются трансформаторные датчики, конденсаторы связи и датчики растекания поверхностных высокочастотных токов.

- Сверхвысокочастотный диапазон (UHF), простирающийся до нескольких ГГц. В этот диапазоне работают различные электромагнитные антенны.

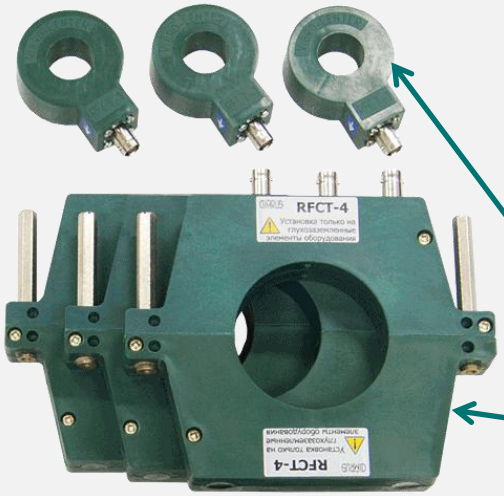
Прибор R2200 проводит измерения частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования в высокочастотном диапазоне частот - HF. Такой выбор сделан по нескольким причинам:

- Только в этом диапазоне частот имеется возможность проведения корректной калибровки измерительных цепей вместе с объектом измерения.

- Датчики и аппаратура HF диапазона сравнительно недороги и просто монтируются, причем в цепях заземления.

- В диапазоне HF удается зарегистрировать максимальное количество разрядов от различного типа дефектов. В других диапазонах это не удается.

Датчики марки RFCT, предназначенные для измерения частичных разрядов в изоляции оборудования в HF диапазоне



Для измерения частичных разрядов в HF диапазоне частот используются сравнительно недорогие датчики.

В стандартный комплект поставки прибора R2200 входят 4 разновидности датчиков марки RFCT (Radio Frequency Current Transformer) – высокочастотные трансформаторы тока. Это:

- RFCT-1 – кольцевые высокочастотные трансформаторы тока, 3 шт.
- RFCT-4 – кольцевые разъемные высокочастотные трансформаторы тока, предназначенные для монтажа без разборки первичных цепей на проводниках и шинах большого сечения, 3 шт.
- RFCT-5 – высокочастотные клещи для оперативного измерения частичных разрядов в проводниках заземления.
- DRTD-3 – высокочастотные трансформаторы для регистрации частичных разрядов в цепях термометров сопротивления Pt100.

Тестовый генератор GKI-2 для калибровки цепей измерения частичных разрядов прибора R2200

Отличительной особенностью измерений частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования является влияние самого объекта на затухание импульса на пути от места возникновения до первичного датчика.

В обычных электрических измерениях такого влияния нет, например, при измерении напряжения в электрических цепях.

Измерение частичных разрядов чем-то напоминает измерение электрических токов в замкнутой цепи, но с одним очень важным отличием, мы не знаем внутреннее сопротивление источника, которое может значительно различаться «от объекта к объекту».

Чтобы определить это неизвестное внутреннее сопротивление необходимо воспользоваться калиброванными импульсами, определяя реакцию контролируемого объекта на такой импульс. Зная ответную реакцию на импульс с известными параметрами, можно всегда по отклику «восстановить» первичный импульс частичного разряда.

Для этих целей в состав поставки прибора R2200 входит калибровочный генератор GKI-2, инжектирующий в объект контроля тестовые импульсы.

Конденсаторы связи для контактного измерения частичных разрядов в высоковольтных цепях – дополнительная опция

Для проведения некоторых специальных измерений частичных разрядов в высоковольтной изоляции в комплектацию поставки прибора R2200 по согласованию может быть включен дополнительный набор из трех измерительных конденсаторов связи, рассчитанных на рабочее напряжение 12 или 24 киловольт с частотой 50 Гц.

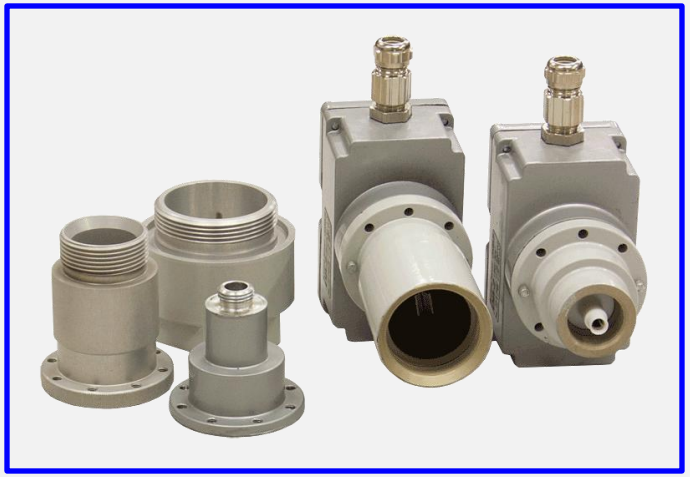
Такие конденсаторы изготавливаются по специальной технологии с использованием слюдяной изоляции. Это обеспечивает им стабильность параметров и долговечность работы.

Достоинством конденсаторов связи является то, что они могут подключаться на полное рабочее напряжение объекта. Это обеспечивает максимально высокую чувствительность проведения измерений частичных разрядов.

Наиболее часто конденсаторы связи применяются в двух случаях:

- Для измерения частичных разрядов в изоляции обмотки статора высоковольтных электрических машин.
- Для измерения частичных разрядов в шинах КРУ и в шинопроводах.

Датчики марки DB-2 для измерения частичных разрядов во вводах силовых трансформаторов – дополнительная опция



При проведении измерений частичных разрядов в изоляции высоковольтных силовых трансформаторов необходимо использовать комплект датчиков марки DB-2, монтируемых на измерительных выводах высоковольтных вводов трансформаторов.

Это связано с наличием в эксплуатации вводов разных фирм, использующих различную конструкцию измерительного вывода.

В полный универсальный комплект датчиков DB-2, использование которых возможно с вводами любого типа и любого производителя, входят две модификации самого датчика и шесть модификаций переходных втулок, обеспечивающих надежное крепление датчика на измерительных выводах, а также комплект соединительных коаксиальных кабелей.

Поставляемый с прибором R2200 комплект датчиков марки DB-2 предназначен для временного монтажа на трансформаторе, для проведения измерений частичных разрядов в изоляции как самого трансформатора, так и высоковольтных вводов.

Система PFR для дистанционной синхронизации процессов измерения ЧР при помощи радиоканала - опция

При проведении регистрации частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования очень важно синхронизировать процесс с фазой синусоиды питающей сети. Только в этом случае возможно корректное проведение диагностики типа дефекта в изоляции, анализ степени его развития.

В ряде практических случаев процедура синхронизации сильно затруднена в связи с большим удалением переносного прибора от доступных промышленных цепей, с которыми необходимо синхронизироваться. Особенно сложно это при использовании датчиков типа RFCT, не передающих через себя ток промышленной частоты.

В этом случае применяется система синхронизации процесса измерений с питающей сетью при помощи передачи специальной опорной отметки по радиоканалу. Передатчик опорного сигнала типа PFR-1 устанавливается в месте наличия питающего напряжения, на удалении до 100 метров от места проведения измерений. Аналогичный прибор, но в режиме приема, подключается к прибору R2200.

2. Технические и программные средства прибора R2200, предназначенные для устранения влияния высокочастотных помех

Прибор R2200 – оптимальная комбинация технических и программных средств отстройки от помех при регистрации ЧР

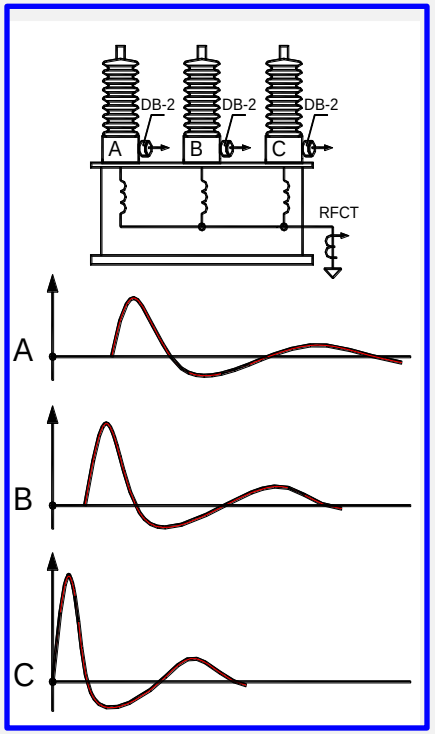
Отстройка от помех является задачей номер 1 при регистрации частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования. Это необходимо делать потому, что параметры информативных импульсов частичных разрядов очень близки к параметрам импульсов помех, которых в высоковольтных сетях всегда очень много и разделить их иногда просто невозможно.

Выполнить отстройку от помех можно двумя способами – на аппаратном и на программном уровне при регистрации и при программной обработке импульсов зарегистрированных импульсов. В первом приближении эти два способа кажутся равноценными, но на самом деле каждый из них имеет свои особенности, достоинства и недостатки.

В приборе R2200 используется оптимальная комбинация этих двух способов борьбы с помехами. Максимально используются технические средства блокирования регистрации помеховых импульсов, что существенно облегчает задачу алгоритмической фильтрации и анализа уже зарегистрированных прибором импульсов.

Очень важным является то, что пользователь может сам формировать особенности технической разбраковки высокочастотных импульсов и подбирать необходимый набор специализированных алгоритмов борьбы с помехами.

Многоканальное синхронное измерение частичных разрядов – возможность реализации наилучшей отстройки от помех



Возникновение импульсов от частичных разрядов в изоляции происходит за очень короткое время, а распространение их внутри изоляции, а затем и внутри самого высоковольтного оборудования происходит со скоростями, близкими к скорости света.

Расстояние в один метр внутри кабеля или другого оборудования импульс частичного разряда «пролетает» за 4 – 5 наносекунд. По этой причине приходится сравнивать между собой сигналы от разных датчиков с временным разрешением до единиц наносекунд. При использовании стандартных технических средств (АЦП) такая точность проведения измерений недостижима.

Очень высокое временное разрешение, необходимое при сравнении параметров нескольких импульсов между собой, в приборе R2200 получено за счет использования синхронной регистрации высокочастотных импульсов по нескольким каналам и за счет использования высокоскоростных технических решений.

В результате использования такого технического решения получено временное разрешение измерительной схемы в 2 наносекунды.

Амплитудное сравнение импульсов от нескольких датчиков – возможность исключить перенаводки внутри оборудования

*	Ua	Ub	Uc	Un
Ua	1,0	0,8	0,6	0,7
Ub	0,8	1,0	0,8	0,5
Uc	0,6	0,8	1,0	0,5
Un	0,7	0,5	0,5	1,0

В приведенном выше примере с силовым трансформатором хорошо видно, что импульс частичного разряда, возникшего в одной его фазе, будет регистрироваться датчиками и в других фазах, но с наименьшей амплитудой.

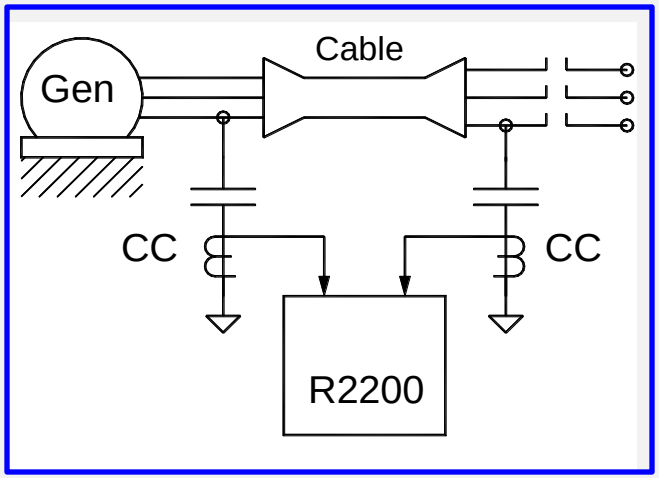
Правило отстройки от таких внутренних помех простое – если в этот момент в других фазах будет иметь место с большей амплитудой, то частичный разряд возник не в анализируемой фазе.

Для устранения влияния таких «внутренних» помех в приборе R2200 предусмотрены специальные технические и программные средства.

- Перед проведением измерений частичных разрядов, при калибровке измерительной схемы, можно «заполнить» ячейки матрицы перенаводки, показывающей степень взаимного влияния фаз трансформатора друг на друга. Значения ячеек матрицы перенаводки рассчитываются автоматически.

- Полученные значения степени взаимного влияния фаз трансформатора теперь могут быть использованы при проведении регистрации частичных разрядов как относительные значения амплитуд сигналов по каналам.

Отстройка от помех по времени прихода импульсов к различным датчикам – метод «TIME OF ARRIVAL»



При регистрации импульса, соответствующего по параметрам импульсу частичного разряда, например, в обмотке статора генератора, сразу же встает вопрос – возник ли этот импульс внутри обмотки генератора, или же он пришел в генератор извне по соединительному кабелю.

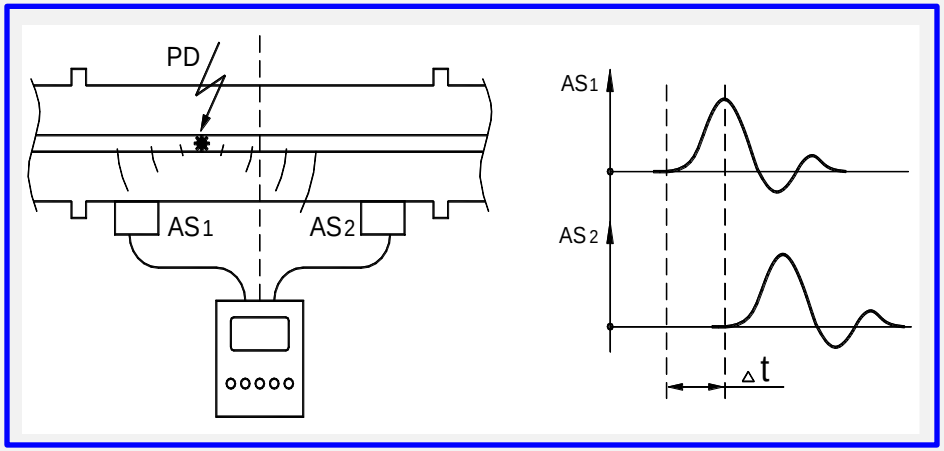
Ответ на этот вопрос коренным образом меняет заключение о состоянии изоляции.

Для ответа на этот вопрос наиболее часто используется метод под названием «time of arrival». Это метод сравнения взаимного времени прихода в прибор импульсов от двух датчиков.

Если первым в прибор пришел импульс от датчика, установленного рядом с генератором, то можно быть уверенным, что этот импульс возник в изоляции обмотки статора генератора. Если же в прибор сначала пришел импульс от второго датчика, то это импульс является помехой, и не имеет никакого отношения к изоляции обмотки статора.

Для той точности, которой обладает прибор R2200, достаточно, чтобы датчики были разнесены друг от друга на расстояние не менее 1 метра.

Локация места возникновения импульса частичного разряда по времени прихода к двум датчикам

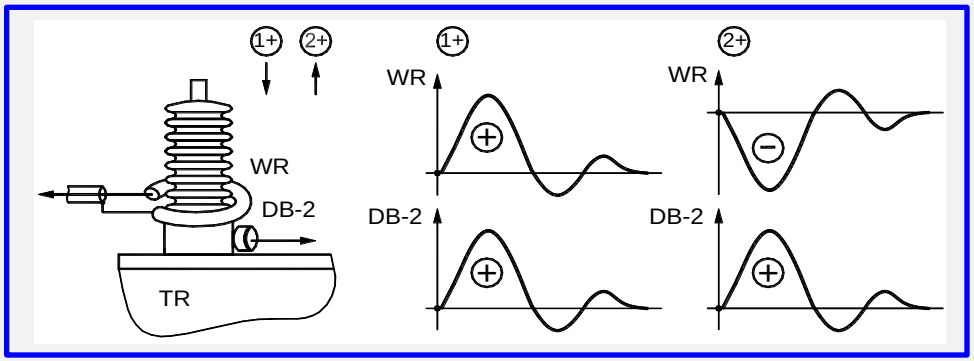


Технические возможности прибора R2200 позволяют локализовать место возникновения частичных разрядов в изоляции даже в том случае, когда зона дефекта пространственно располагается между двумя установленными датчиками частичных разрядов.

При помощи встроенных функций прибора определяется разница во времени прихода импульса частичного разряда от зоны дефекта до каждого датчика. Если дефект располагается точно между датчиками, то импульс придет к ним одновременно. Если к одному датчику импульс приходит раньше, то значит зона дефекта ближе к нему.

Величина задержки по времени Δt пропорциональна удвоенному времени пролета импульса от зоны дефекта до средней линии, проведенной между датчиками. Если дефект будет находиться рядом с датчиком «1», то сдвиг по времени Δt будет количественно равен времени пролета импульса от одного к другому датчику. По этому параметру можно определить точное значение скорости движения электромагнитной волны внутри объекта.

Отстройка от помех при помощи сравнения полярности импульсов от двух датчиков разного типа



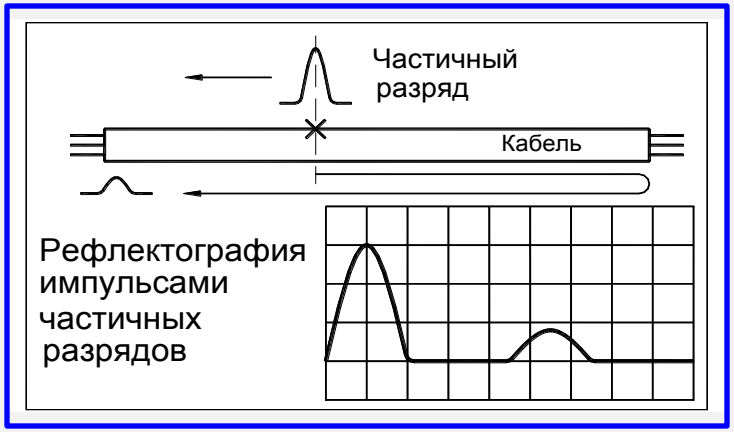
Если в контролируемом объекте имеет место высокий уровень помех, как в силовом трансформаторе, где очень велико влияние коронных разрядов, то для уменьшения их влияния можно воспользоваться датчиками разных типов.

В качестве примера показана ситуация, когда на одном вводе трансформатора смонтированы два датчика – катушка Роговского WR и датчик DB-2 (или RFCT) на измерительном выводе ввода.

Вне зависимости от направления движения импульса, вовнутрь или наружу из трансформатора, полярность выходного сигнала от датчика DB-2 зависит только от полярности высокочастотного импульса. Сигнал на выходе катушки Роговского связан с полярностью импульса и с направлением его движения по вводу.

Сравнение полярности двух импульсов позволяет однозначно определять направление движения импульса. Если он идет «из трансформатора», то это частичный разряд, если «в трансформатор», то это помеха.

Локация места возникновения импульса частичного разряда по времени прихода прямого и отраженного импульсов



При помощи импульсов частичных разрядов можно не только выявлять наличие дефектов в изоляции, но и проводить локацию места возникновения дефектной зоны в силовом кабеле.

Процедура такой локации имеет много общего с использованием рефлектограммы, но работает в on-line режиме.

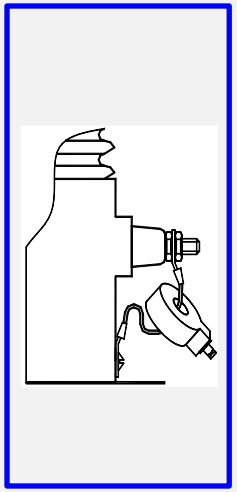
В качестве зондирующего импульса используется импульс частичного разряда, имеющий такую амплитуду, чтобы можно было зарегистрировать отраженный от противоположного конца кабельной линии сигнал.

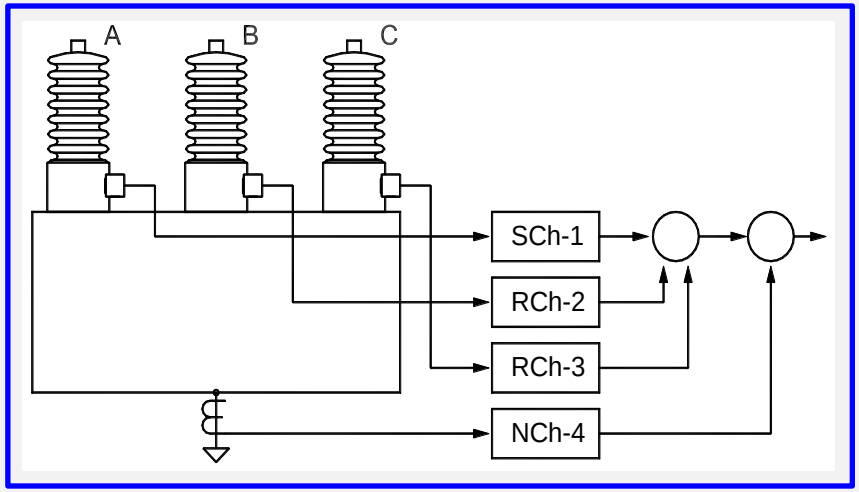
Локация работает на принципе определения разницы во времени прихода к прибору «прямого» и «отраженного» импульсов от ЧР. Это время однозначно определяет место нахождения зоны дефекта в кабельной линии.

В приборе R2200 реализована автоматизированная функция регистрации и анализа рефлектограмм. Если прибором в кабеле выявляются частичные разряды, то для них может быть зарегистрирован и записан в память график прихода всех импульсов в течение времени, достаточного для преодоления этими импульсами двукратной длины контролируемого кабеля.

3. Практические примеры использования прибора R2200 для регистрации частичных разрядов в высоковольтном оборудовании различных типов

Измерение частичных разрядов в высоковольтном силовом трансформаторе при помощи прибора R2200





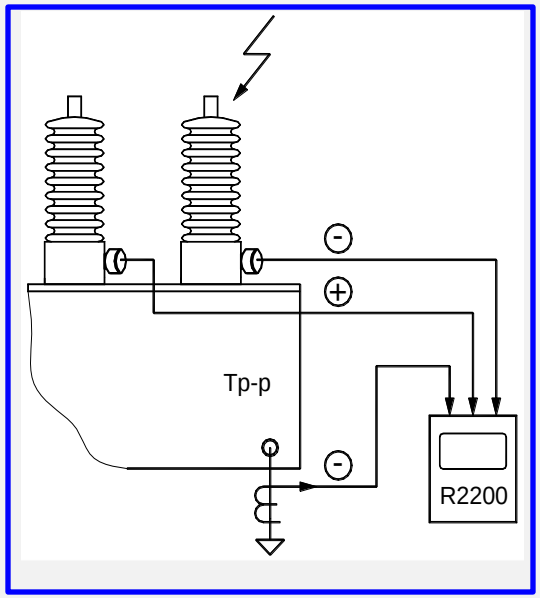
На левом рисунке показан способ временной установки датчиков марки RFCT-1 на измерительном выводе ввода трансформатора. Вывод надежно заземляется, на проводнике заземления монтируется датчик частичных разрядов.

На контролируемом трансформаторе монтируются четыре датчика – три на измерительных выводах и еще один или в нейтрали высоковольтной обмотки, или на проводнике заземления магнитопровода, или на общем заземлении бака трансформатора.

В процессе регистрации частичных разрядов в каждой фазе трансформатора используются 4 измерительных канала прибора R2200 – основной сигнальный канал, два референсных и один шумовой канал.

Измерительная конфигурация прибора в таком режиме показана на рисунке. Использование 4 каналов позволяет избавиться от помех, передающихся от фазы к фазе внутри бака, и от внешних импульсов коронных разрядов.

Способ отстройки от коронных разрядов при проведении измерений частичных разрядов в силовом трансформаторе



Отстройка от импульсов коронных разрядов производится по полярности сигналов, зарегистрированных с измерительных ПИН вводов фаз трансформатора.

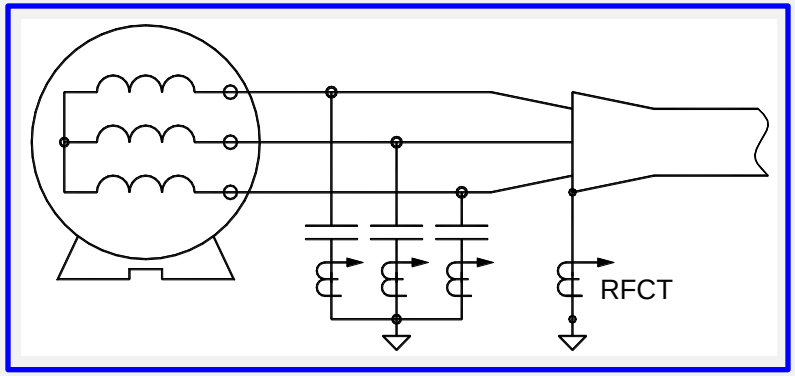
При измерении частичных разрядов в любой фазе трансформатора синхронно сравнивается полярность импульсов, регистрируемых со всех трех датчиков, установленных на вводах.

Если все три импульса с датчиков фаз имеют одинаковую полярность, то это импульс ЧР.

Если при регистрации мы получаем сигналы, различающиеся по полярности первых «пиков», то это соответствует случаю регистрации импульса от коронного разряда, т. е. это есть внешняя помеха, которую прибор R2200 самостоятельно «бракует».

Так еще на аппаратном уровне в приборе R2200 работает очень эффективная разборка импульсов, возникших внутри трансформатора от импульсов, пришедших в него снаружи и из окружающей среды. Благодаря этому пользователь может даже не знать, сколько было импульсов коронных разрядов, которые не включены в итоговую регистрацию.

Измерение частичных разрядов в обмотке статора высоковольтного генератора и электродвигателя



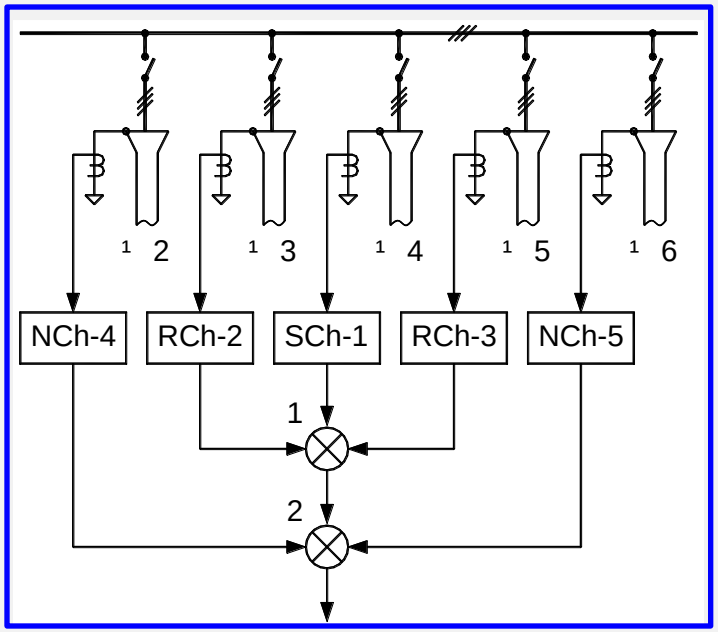
Наиболее часто в высоковольтных электрических машинах по уровню и распределению частичных разрядов контролируют состояние изоляции обмотки статора. Один из используемых вариантов установки первичных датчиков приведен на рисунке.

Здесь также используются четыре датчика частичных разрядов, но общая конфигурация измерительной схемы другая. Между фазами обмотки статора используется только амплитудная разборка импульсов.

Датчик, смонтированный на поводке заземления экрана питающего электродвигатель кабеля, используется в приборе для реализации разборки импульсов типа «time of arrival». Благодаря ее применению удается эффективно отстраиваться от любых внешних помех, которые могут попасть в обмотку статора извне по соединительному кабелю.

Конденсаторы связи являются эффективным решением для создания систем мониторинга состояния изоляции обмотки статора по частичным разрядам и проведения периодических измерений, когда конденсаторы монтируются стационарно. Для проведения разовых измерений ЧР монтировать их сложно.

Измерение частичных разрядов в группе силовых кабелей при помощи прибора R2200



Достаточно сложно измерять частичные разряды в кабельных линиях, когда к одним шинам подключено несколько линий. В этом случае взаимная наводка импульсов между ними настолько велика, что очень трудно выявить линию с дефектом.

Применение прибора R2200 в этом случае является очень эффективным, поскольку в нем еще на аппаратном уровне реализованы нужные средства разделения высокочастотных импульсов от рядом расположенных объектов.

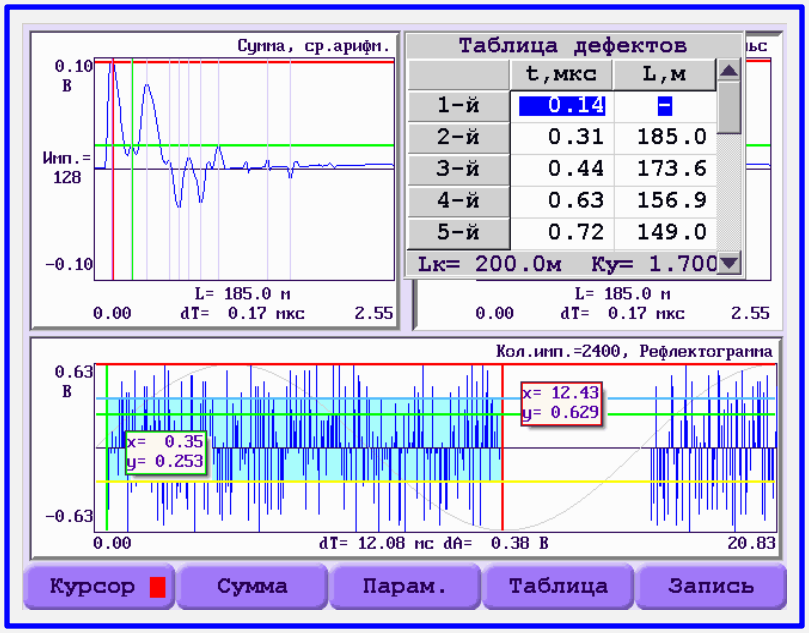
На приведенной конфигурации измерительной схемы прибора хорошо видно, что для измерения частичных разрядов в кабельной линии 4 задействованы все пять измерительных каналов прибора R2200.

В конфигурации прибора используются средства отстройки от помех:

- Метод «time of arrival» от кабельных линий 3 и 5.
- Метод амплитудной отстройки от сигналов в линиях 2, 3, 5 и 6.

Дополнение результатов алгоритмическим методами отстройки от помех позволяет практически полностью устранить влияние наведенных импульсов.

Локация места возникновения дефекта в кабельной линии при помощи прибора R2200



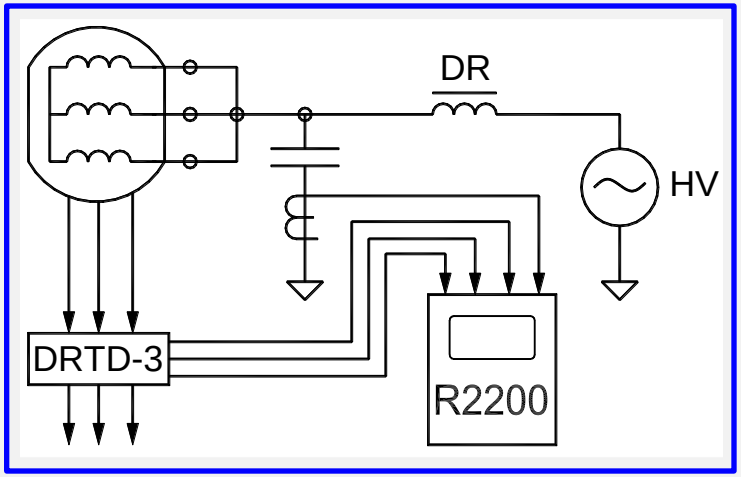
Одновременно с регистрацией частичных разрядов в изоляции кабельной сборки при помощи прибора R2200 может проводиться локация места возникновения дефекта в изоляции кабельной линии. На копии экрана прибора показаны его возможности в этом режиме.

В нижней части экрана показано распределение всех зарегистрированных импульсов во времени, относящихся к конкретной кабельной линии.

Из всего многообразия зарегистрированных импульсов пользователь может выбрать похожие, относящиеся к одному дефекту. По этим выбранным импульсам может быть построена усредненная рефлектограмма, по которой производится локация места возникновения данного дефекта.

Справа вверху приведена расчетная таблица дефектов, соответствующая полученной рефлектограмме. Координаты дефекта приведены в функции двух параметров, времени задержки в приходе импульсов и в расстоянии от противоположного конца контролируемой кабельной линии.

Измерение частичных разрядов на испытательных стендах при помощи прибора R2200



Прибор марки R2200 может быть использован в составе испытательных стендов, на которых производится определение состояния высоковольтной изоляции после изготовления оборудования или его ремонта.

На рисунке показан пример измерения на стенде ЧР в статоре электрических машинах.

Основное отличие от измерений в работающем оборудовании заключается в подаче на все три обмотки статора одного напряжения от высоковольтного источника. В качестве датчиков частичных разрядов на схеме показан один датчик марки DRTD-3 и один конденсатор связи.

Минимальный уровень измеряемых частичных разрядов определяется уровнем внешних шумов, от которых уже не удается отстроиться средствами и функциями измерительного прибора. Для измерения частичных разрядов самого минимального уровня в единицах pK, необходимо тщательно экранировать объект измерения, например, помещать его в клетку Фарадея, а также использовать «PD-Free» источник испытательного напряжения.

4. Оценка технического состояния изоляции высоковольтного оборудования на основании измерений частичных разрядов

К вопросу о выборе параметров частичных разрядов, используемых при оценке технического состояния изоляции

Для оценки интенсивности, энергии, повторяемости импульсов частичных разрядов используются различные параметры. Наиболее часто используемыми являются следующие параметры:

- Величина кажущегося частичного разряда, измеренного в размерности pK.
- Амплитуда импульса частичного разряда, измеренная на выходе датчика в размерности mV.
- Количество импульсов частичных разрядов в изоляции, приведенное к одной синусоиде питающей сети.
- Количество импульсов частичных разрядов в изоляции, приведенное к пяти синусоидам питающей сети.
- Энергия, выделяемая всеми зарегистрированными частичными разрядами.
- Мощность, выделяемая частичными разрядами.

Все эти параметры частичных разрядов, а также еще часть второстепенных параметров по выбору пользователя рассчитываются в приборе R2200.

Небольшое отличие между повторяющимися параметрами объясняется тем, что разные специалисты несколько по-разному трактуют описание частичных разрядов. Мы же старались сделать прибор максимально дружелюбным для всех пользователей, которые могут выбрать нужные им параметры.

Способы оценки технического состояния изоляции по измеренным и расчетным параметрам частичных разрядов

На практике используется несколько способов оценки технического состояния изоляции оборудования, выполняемых по частичным разрядам.

Во-первых, это оценка состояния изоляции по амплитудным параметрам ЧР:

- Оценка состояния изоляции по величине амплитуды максимальных импульсов частичных разрядов.
- Оценка состояния изоляции по амплитуде только повторяющихся импульсов частичных разрядов.
- Оценка состояния изоляции по наличию положительного тренда в изменении любых параметров частичных разрядов.

Во-вторых, это оценка по энергетическим параметрам частичных разрядов:

- Оценка состояния изоляции по энергии всех частичных разрядов.
- Оценка состояния изоляции по мощности всех частичных разрядов.

В-третьих, это оценка по параметрам выявленных дефектов в изоляции:

- Оценка состояния изоляции оборудования по степени опасности типов дефектов, выявленных на основании анализа частичных разрядов в изоляции.
- Оценка состояния изоляции по степени развития выявленных опасных дефектов. Это самая сложная оценка состояния изоляции.

Оценка технического состояния изоляции по измеренному уровню частичных разрядов

Оценка технического состояния изоляции высоковольтного оборудования по уровню измеренных частичных разрядов на первый взгляд кажется самой простой и очевидной. На самом деле это наиболее сложная оценка, на которую влияет очень много не связанных между собой параметров.

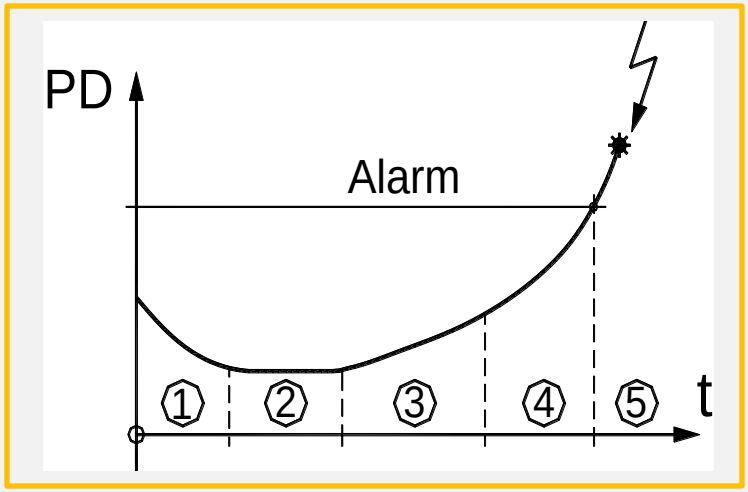
Во-первых, это неопределенность и неоднозначность параметров самой изоляции. Даже у однотипного высоковольтного оборудования, выпущенного одним заводом – изготовителем, базовый уровень частичных разрядов, а значит и пороги технического состояния, могут различаться в несколько раз.

Во-вторых, наличие в эксплуатации оборудования с различными типами изоляции приводит к тому, что использование каких-либо обобщенных порогов технического состояния в принципе невозможно.

В-третьих, пороги технического состояния изоляции связаны со сроком эксплуатации каждой единицы оборудования, с технологическими режимами ее эксплуатации, температурными нагрузками и т. д.

В результате могут иметь место случаи, когда (опытными!) диагностами в одну группу по техническому состоянию изоляции может быть отнесено высоковольтное оборудование, уровень частичных разрядов в котором может отличаться даже в десятки раз.

Наличие возрастающего тренда в параметрах частичных разрядов – признак наличия развивающегося дефекта в изоляции



Более правильно оценивать техническое состояние по наличию временного тренда, показывающего увеличение уровня частичных разрядов в изоляции.

Если в течение года уровень частичных разрядов увеличивается в 3 – 5 раз, то это всегда говорит о наличии и развитии опасных дефектов в изоляции.

Во временном графике изменения уровня частичных разрядов в изоляции можно выделить 5 характерных участков:

1 – зона приработки оборудования, когда уровень может даже уменьшиться.

2 – зона нормальной «бездефектной» работы изоляции.

3 – зона возникновения и медленного развития дефектов в изоляции.

4 – зона ускоренного «саморазвития» дефектов.

5 – зона предаварийного состояния изоляции, завершающегося пробоем.

Интервал времени каждой зоны является сложной функцией многих параметров оборудования и условий эксплуатации. Наиболее точно учитывается при проведении периодических измерений частичных разрядов.

Диагностика типа и места дефекта – наиболее важная задача при анализе состояния изоляции

Даже если удается правильно оценить реальный уровень частичных разрядов в изоляции, все равно остается открытым самый главный вопрос, является ли имеющийся дефект опасным для дальнейшей эксплуатации оборудования или нет.

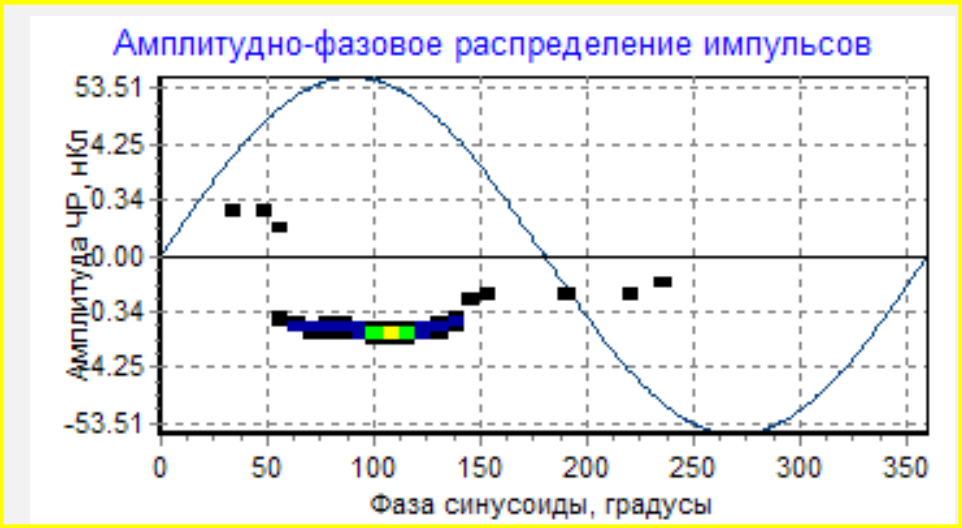
Для примера, в трансформаторном оборудовании достаточно часто частичные разряды возникают в сердечнике или в магнитных шунтах. Даже если эти разряды будут иметь большой уровень, они практически не оказывают существенного влияния на надежность работы трансформатора.

В то же время частичные разряды во вводе трансформатора, даже при на порядок более низком уровне, могут очень быстро привести к выходу трансформатора из строя.

Опасен не просто уровень частичных разрядов, а тип дефекта в изоляции, который привел к появлению частичных разрядов! Чрезвычайно важным является место, где этот дефект возник!

Для решения этих вопросов в приборе R2200 реализованы не только функции регистрации импульсов частичных разрядов, но и функции оперативной диагностики типов дефектов «на месте». Только прибор R2200 имеет встроенную экспертную систему PD-Expert, позволяющую в автоматизированном режиме локализовать тип и место дефекта в изоляции.

PRPD - АМПЛИТУДНО - ФАЗО - ЧАСТОТНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИМПУЛЬСОВ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ



Очень большое значение для диагностики типа дефекта в высоковольтной изоляции имеет анализ амплитудно – фазо – частотного распределения импульсов частичных разрядов.

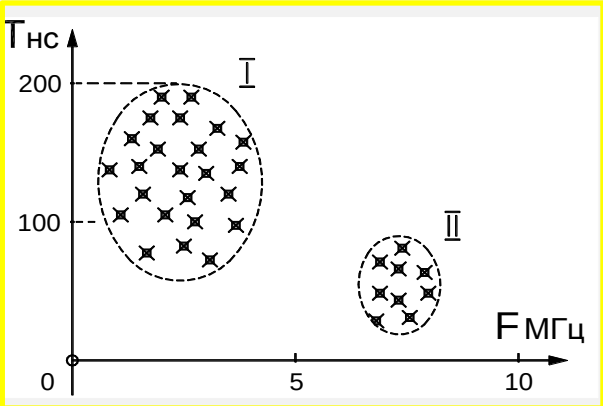
В литературе оно имеет обозначение PRPD (Phase Resolved Partial Discharge).

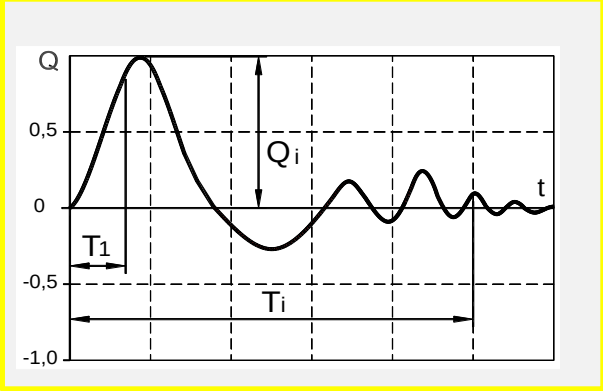
Поскольку это распределение импульсов синхронизировано с синусоидой питающей сети, то форма этого распределения частичных разрядов практически однозначно связана с типом дефекта, возникшего в изоляции. Поэтому распределение PRPD даже часто называют «графическим образом» типа дефекта в изоляции оборудования.

В измерительном приборе R2200 распределение PRPD всегда строится на экране после каждой регистрации импульсов частичных разрядов.

Опытный диагност, имеющий большой практический опыт, легко определит по PRPD распределению импульсов частичных разрядов тип дефекта в изоляции, причем с очень высокой точностью.

Время – частотное распределение импульсов частичных разрядов на TFM плоскости – метод разделения нескольких дефектов





Очень важное значение имеет диагностика, основанная на анализе частотных свойств каждого импульса. В приборе R2200 и в программе PD-Expert реализован анализ частотных свойств импульсов частичных разрядов на основании применения время – частотного разложения.

В литературе такое распределение импульсов называется TFM - плоскостью (Time Frequency Map).

Основными параметрами TFM являются:

- Частота первого импульса в сигнале частичного разряда.

- Полная длительность импульса частичного разряда, определенная на уровне 5% от амплитуды.

При помощи TFM плоскости можно разделить все зарегистрированные импульсы частичных разрядов на группы. Признаки отличия групп:

- Импульсы, возникшие от разных типов дефектов в изоляции.

- Импульсы от одинаковых типов дефектов, но возникших в разных зонах изоляции контролируемого оборудования.

5. Автоматизированная диагностическая экспертная система «PD-Expert» - встроенная функция прибора R2200

Назначение и основные свойства экспертной диагностической системы PD-Expert, поставляемой с прибором R2200

Автоматизированная экспертная диагностическая система PD-Expert, поставляемая с прибором R2200, предназначена для оперативной диагностики дефектов в изоляции контролируемого оборудования.

При помощи системы PD-Expert решаются две важные задачи:

- Для опытного подготовленного диагноста экспертная система позволяет уменьшить трудоемкость проведения диагностических работ и формирования отчетных документов.

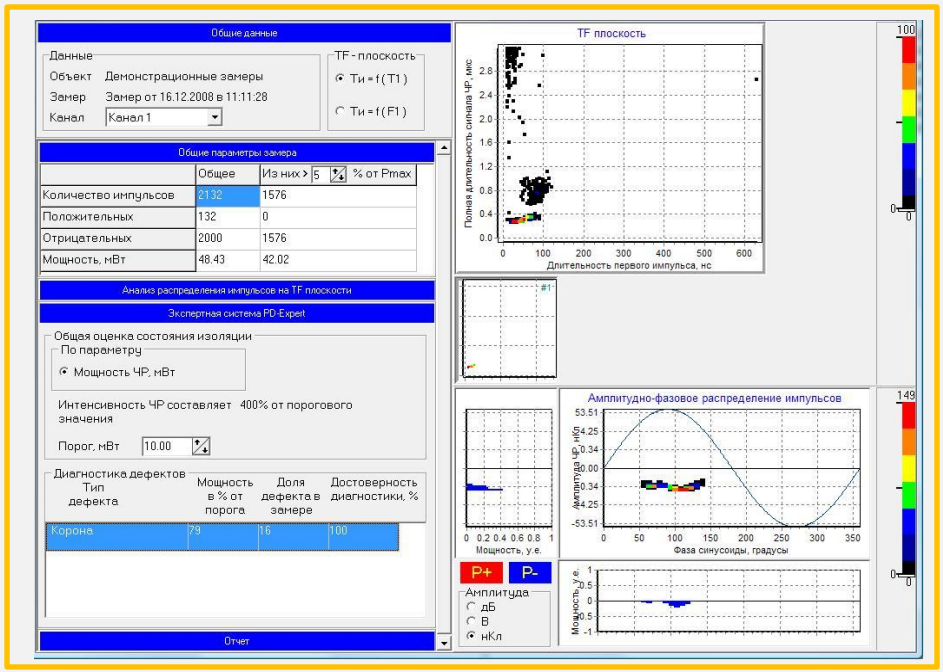
- Для начинающих специалистов в области анализа частичных разрядов, еще не имеющих большого опыта, система PD-Expert выполняет функции обучающей программы, снижая количество ошибок начального уровня.

Уникальными достоинствами экспертной системы PD-Expert являются:

- Реализация системы на двух уровнях – непосредственно в программном обеспечении прибора R2200, что дает возможность оперативной диагностики и в компьютере, в котором храниться общая база данных замеров.

- Открытость и адаптивность встроенных алгоритмов диагностики дефектов в изоляции. Опытный специалист всегда имеет возможность модернизировать поставляемые диагностические правила к особенностям конкретного оборудования. При необходимости он может создавать свои диагностические правила, наиболее эффективные в практических условиях.

Алгоритм обработки зарегистрированной информации в экспертной диагностической системы PD-Expert



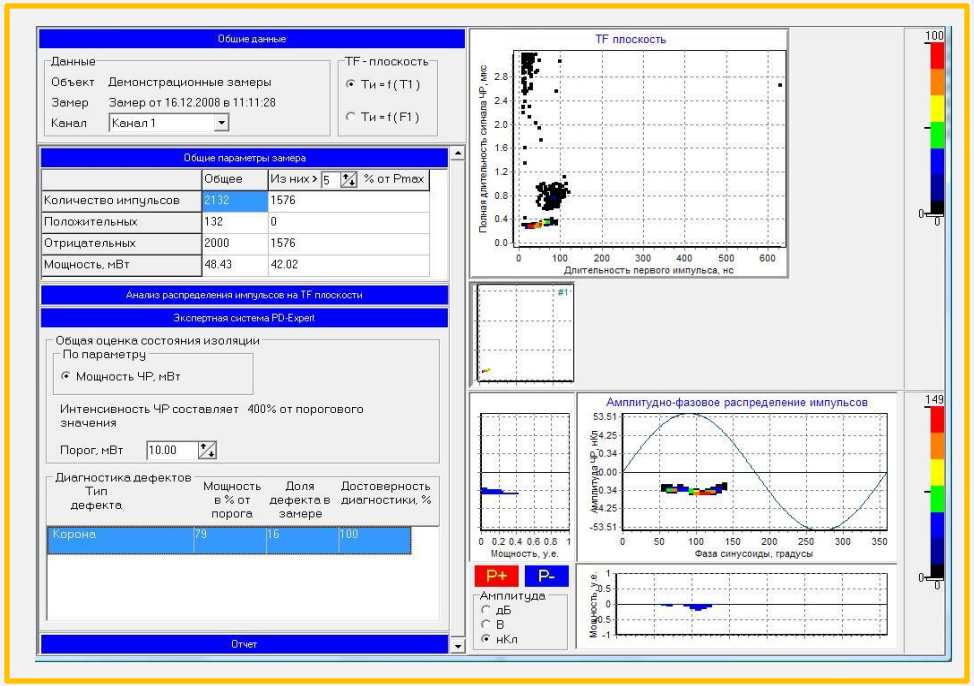
Программа PD-Expert все зарегистрированные в одном замере импульсы частичных разрядов «раскладывает» на TFM плоскости, автоматически выделяя группы одинаковых импульсов, соответствующих разным дефектам.

При помощи такой раскладки сразу же производится фильтрация случайных импульсов, имеющих нетипичные значения своих частотных параметров.

Для каждой группы импульсов, выделенных из замера на TFM плоскости, отдельно анализируется PRPD распределение, которое сравнивается с имеющимися в памяти программы «графическими образами» дефектов в изоляции. В случае совпадения импульсы этой группы относятся к данному типу дефекта с оценкой достоверности.

По итогам работы программы PD-Expert автоматически формируется диагностическое заключение о всех выявленных дефектах в изоляции.

Использование алгоритмических средств PD-Expert для разделения частичных разрядов и внешних помех



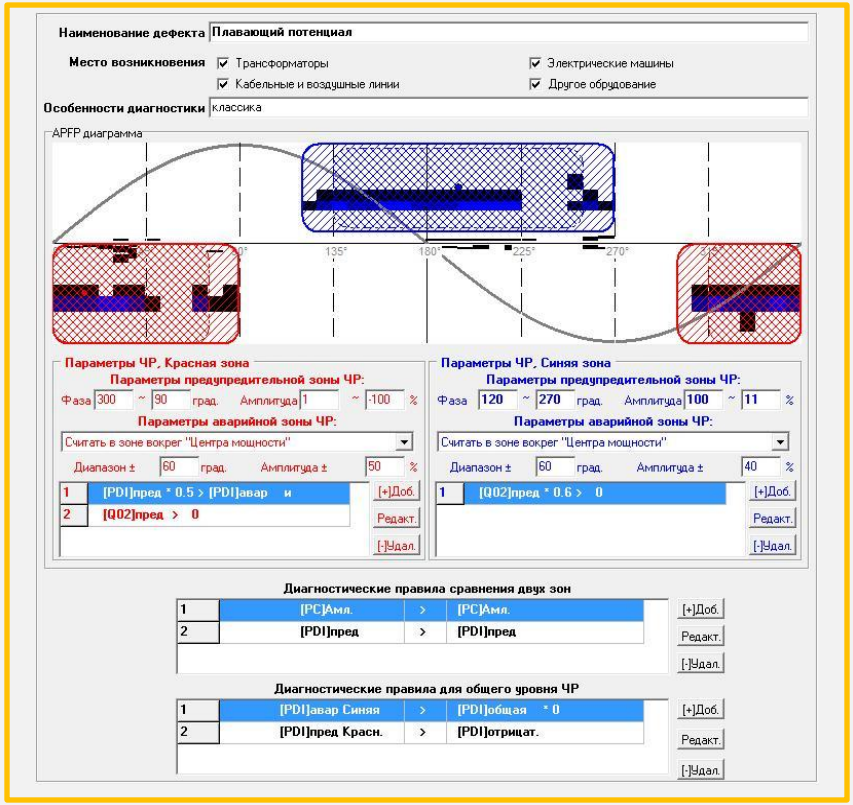
На приведенном примере хорошо видно, что все импульсы частичных разрядов сосредоточены на TFM плоскости в трех группах.

Заданным в памяти программы образам дефектов соответствует только нижняя, самая большая группа импульсов частичных разрядов. Графических аналогов для двух других групп импульсов найдено не было, это два типа внешних помех.

На PRPD распределении импульсов информативной группы, показанном внизу справа, видно, что эти импульсы являются обычными коронными разрядами.

Таким образом мы получаем, что все высокочастотные импульсы, зарегистрированные в нашем замере, являются импульсами помех. Они не имеют ни какого отношения к дефектам, которые мы хотим выявить в изоляции контролируемого оборудования, состояние которого является хорошим.

Средства формирования образов дефектов и диагностических правил, доступные пользователю программы



На копии экрана программы PD-Expert, взятой с компьютера, показывается как пользователь может создавать и корректировать свои диагностические правила.

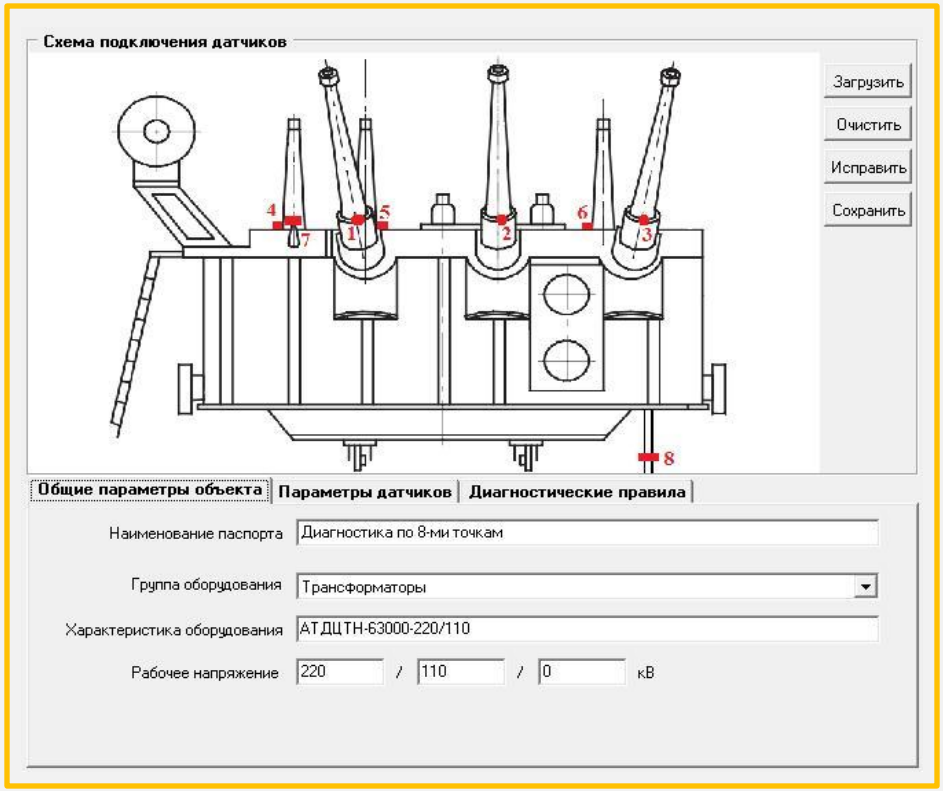
Правило может быть создано пользователем «с нуля», или на основании коррекции уже имеющегося, или же на основе реального замера частичных разрядов в изоляции оборудования.

В каждой фазовой зоне можно выделить две зоны импульсов, соответствующие разным уровням достоверности работы правила.

Открытая возможность корректировки диагностических правил оказывает большую помощь подготовленному пользователю, дает возможность проводить обучение других пользователей, передавать свои знания другим.

При необходимости диагностические правила могут пересылаться по сети другим пользователям приборов марки R2200.

Диагностический паспорт высоковольтного оборудования – основа для проведения автоматизированной диагностики



Библиотека диагностических правил в программе PD-Expert является универсальной. Для того, чтобы задействовать какое-либо правило, необходимо включить его в диагностический паспорт контролируемого оборудования.

В диагностическом паспорте оборудования описываются:

- Места установки датчиков.
- Тип и чувствительность датчиков.
- Диагностические правила, которые необходимо использовать.

Диагностический паспорт составляется пользователем, сохраняется в памяти и является алгоритмической программой, по которой будет работать система PD-Expert применительно к диагностике состояния изоляции контролируемого оборудования.

Достоверность получения диагностических заключений полностью зависит от того, насколько правильно составлен диагностический паспорт.

Использование экспертной системы PD-Expert в приборе R2200 при проведении измерений

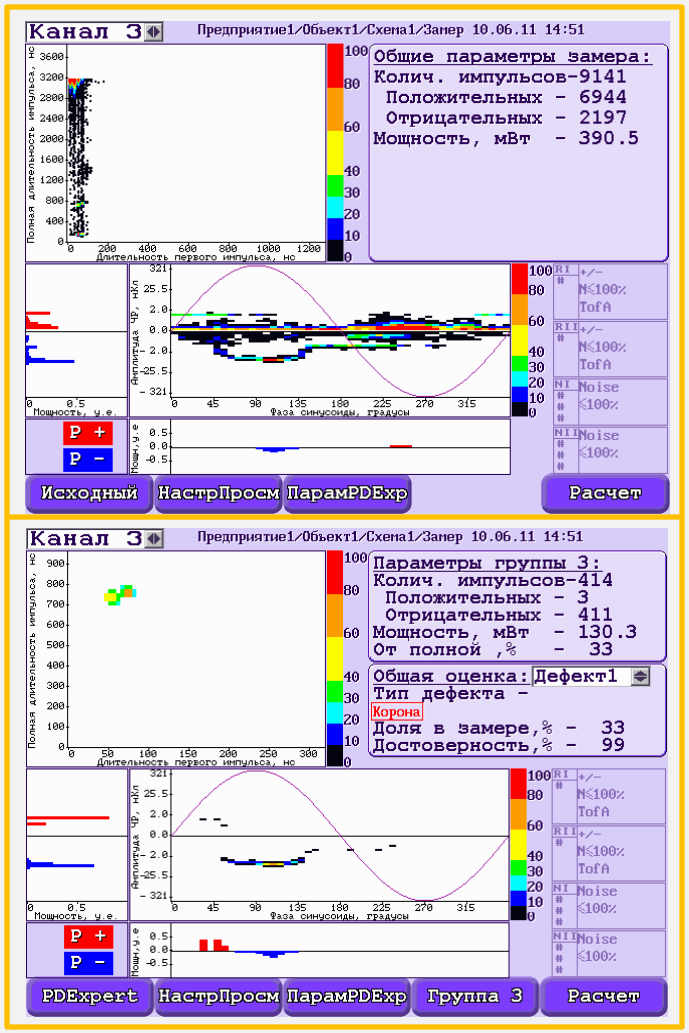
Основным «местом» работы экспертной системы PD-Expert является персональный компьютер. Здесь можно выполнять все работы по созданию диагностических правил и паспортов, их корректированию и непосредственному проведению диагностических работ.

Система PD-Expert реализована и в программном обеспечении самого прибора R2200, но не в полном объеме. Это вызвано не ограниченными возможностями микропроцессора прибора, их вполне достаточно для работы полной версии экспертной системы. Основной причиной являются ограниченные возможности органов управления переносных приборов. Здесь присутствует только клавиатура ограниченного объема, что затрудняет, например, создание диагностических правил.

По этой причине предусматривается, что все необходимые диагностические правила и паспорта создаются на компьютере и, по мере надобности, загружаются в переносной прибор R2200. Далее каких-либо ограничений по их использованию нет.

Можно анализировать замер высокочастотных импульсов «на месте» с использованием необходимых диагностических правил и диагностических паспортов, которые могут иметь модификации. Можно получать и просматривать готовые заключения, что очень удобно.

Прибор R2200 + система PD-Expert – максимальная эффективность при отстройке сигналов помех



Технические средства прибора R2200 для отстройки от помех плюс алгоритмические возможности экспертной системы PD-Expert = уникальная способность отстраиваться от внешних и наведенных помех.

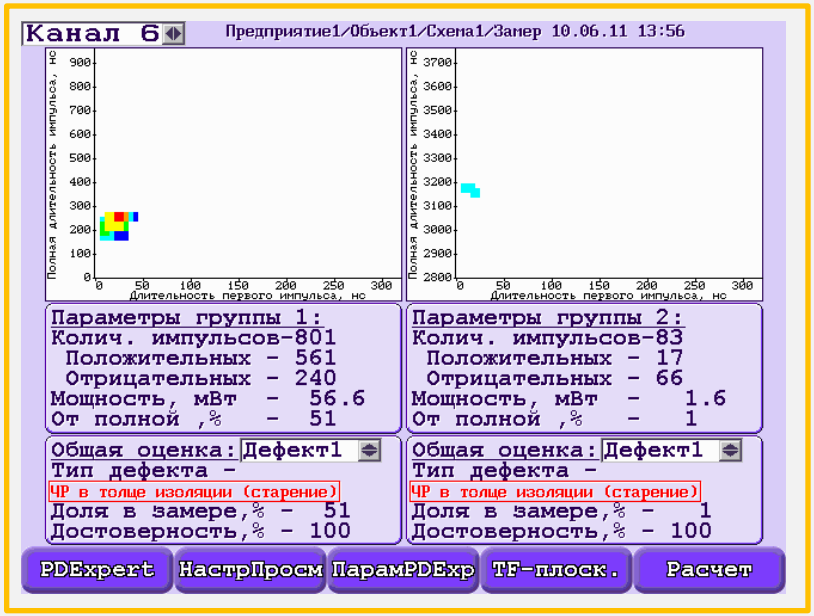
На рисунке приведен замер, выполненный прибором, иллюстрирующий возможности отстройки от помех. Количество импульсов:

- Без использования аппаратных и алгоритмических средств отстройки от помех прибором было зарегистрировано около 32 тысяч высокочастотных импульсов различной природы возникновения.

- После включения аппаратных средств прибора отстройки в память были записаны около 9 тысяч импульсов.

- После обработки информации средствами экспертной системы PD-Expert в регистрации осталось всего 414 информативных импульсов.

PD-Expert – возможность разделения двух одинаковых дефектов, но возникших в разных зонах изоляции



При помощи программных средств экспертной системы можно разделять не только разные дефекты, но и одинаковые, возникшие в разных зонах изоляции контролируемого оборудования.

На рисунке приведена копия экрана прибора R2200, показывающая результаты анализа замера частичных разрядов. Программа обнаружила два одинаковых дефекта, возникших в разных местах.

Первый диагностированный дефект более развит, в нем выделяется мощность около 50 мВт, для второго это значение составляет всего 1,6 мВт. Благодаря использованию TFM плоскости удалось дифференцировать дефекты, различающиеся по мощности более чем в тридцать раз.

В обоих случаях программа определила тип выявленных дефектов как «ЧР в толще изоляции (старение)». Второй дефект расположен ближе к измерительному датчику, т. к. частота первого импульса у него выше, а полное время всего импульса меньше.

ООО «ДИМРУС»
г Пермь, ул. Кирова 70.
Тел.: (342) 212-23-18
Тел./факс: (342) 212-84-74
www.dimrus.ru
dimrus@dimrus.ru