

ООО «DIMRUS»

Каталог датчиков

для переносных и стационарных систем контроля состояния
высоковольтного электротехнического оборудования

Часть 1:

Датчики токов проводимости и частичных разрядов в изоляции
высоковольтных вводов

Часть 2:

Датчики частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования

Часть 3:

Дополнительные датчики для систем измерения частичных разрядов в
высоковольтном оборудовании

Часть 4:

Градуировочные калибраторы и испытательные системы

Пермь

Оглавление

1. Датчики для регистрации токов проводимости и частичных разрядов в высоковольтных вводах.	4
1.1.1. Особенности конструкции датчиков марки «DB-2».	4
1.1.2. Выбор устройства присоединения марки «DB-2».	6
2. Датчики для регистрации импульсов частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования.	9
2.1. Высоковольтные конденсаторы связи марки «CC».	9
2.1.1. Конденсаторы связи марки «CC-XX/I».	11
2.1.2. Конденсаторы связи марки «CC-XX/M».	12
2.1.3. Конденсаторы связи марки «CC-XX/U».	13
2.2. Датчики трансформаторного типа серии «RFCT», работающие в HF диапазоне частот.	14
2.2.1. Датчик частичных разрядов марки «RFCT-1».	15
2.2.2. Датчик частичных разрядов марки «RFCT-2».	16
2.2.3. Датчик частичных разрядов марки «RFCT-3».	17
2.2.4. Датчик частичных разрядов марки «RFCT-4».	17
2.2.5. Датчик частичных разрядов марки «RFCT-5».	19
2.2.6. Датчик частичных разрядов марки «RFCT-6».	19
2.2.7. Датчик частичных разрядов марки «RFCT-7».	20
2.2.8. Датчик «SCM» для регистрации частичных разрядов в изоляции и емкостных токов в экранах кабельных линий.	21
2.2.9. Датчик частичных разрядов марки «DRTD-3» для измерений в статорах электрических машин.	22
2.3. Емкостные датчики для регистрации частичных разрядов.	23
2.3.1. Емкостные датчики марки «TSM» для регистрации высокочастотных токов растекания.	23
2.3.2. Комплексный датчик марки «CDR-S» для кабелей и муфт.	25
2.4. Электромагнитные антенны UHF диапазона частот для регистрации частичных разрядов.	25
2.4.1. Датчик марки «AES» для регистрации частичных разрядов в КРУЭ.	26
2.4.2. Датчик марки «AES/W» для регистрации частичных разрядов в КРУЭ.	27
2.4.3. Датчик марки «ACS» для регистрации частичных разрядов в КРУЭ.	28
2.4.4. Датчик «BA-1» для измерения ЧР в статорах электрических машин.	28
2.4.5. Направленная логопериодическая антенна марки «LPA-1».	29
2.5. Акустические датчики для регистрации импульсов частичных разрядов.	30
2.5.1. Акустический датчик частичных разрядов марки «AC-Sensor».	31
2.5.2. Резонансный акустический датчик частичных разрядов марки «AR-Sensor». .	32
3. Дополнительные датчики для использования в системах мониторинга высоковольтного оборудования.	34
3.1. Датчики опорных сигналов для синхронизации измерения ЧР с фазой приложенного напряжения.	34
3.1.1. Датчик опорного сигнала марки «AR-1».	35
3.1.2. Датчик опорного сигнала марки «PFR-1», передача по радиоканалу.	35
4. Градуировочное и тестовое оборудование, имитаторы сигналов.	36
4.1. Градуировочное оборудование для схем измерения частичных разрядов.	36
4.1.1. Градуировочный калибратор марки «GKI-1».	37

4.1.2. Градуировочный калибратор марки «GKI-2».	37
4.1.3. Градуировочный калибратор марки «GKI-3».	38
4.1.4. Градуировочный калибратор марки «GKI-4».	39
4.1.5. Градуировочный калибратор марки «GTI-5/UHF».	39
4.2. Имитаторы тестовых сигналов и испытательные комплексы.	40
4.2.1. Имитатор тестовых сигналов марки «ИТТ-1».	41
4.2.2. Имитатор тестовых сигналов марки «ИТТ-2».	42
4.2.3. Имитатор тестовых сигналов марки «ИТТ-3».	42
4.3. Симуляторы сигналов частичных разрядов.	43
4.3.1. Симулятор дефектов в изоляции марки «PD Simulator».	43
4.3.2. Симулятор сигналов от дефектов марки «IDS».	44
4.3.3. Симулятор кабельной линии марки «SCL-500».	45

1. Датчики для регистрации токов проводимости и частичных разрядов в высоковольтных вводах.

Датчики марки «DB-2» предназначены для регистрации токов проводимости высоковольтных трансформаторных вводов с твердой RIP изоляцией и изоляцией «бумага – масло». Датчики этой марки широко используются в системах диагностического мониторинга трансформаторного оборудования. Благодаря своей особой конструкции они позволяют, наряду с регистрацией токов проводимости изоляции вводов, дополнительно производить регистрацию импульсов частичных разрядов, возникших в изоляции вводов и внутри трансформатора.

Более правильно следует называть датчики марки «DB-2» устройствами присоединения, которыми на самом деле они и являются. В устройстве присоединения не происходит каких-либо преобразований контролируемых входных параметров, а только установлены дополнительные элементы защиты измерительного вывода контролируемого ввода во всех специальных режимах работы ввода. Это приходится делать потому, что устройства присоединения «DB-2» устанавливаются на место защитных колпачков, замыкающих измерительный вывод ввода на землю.

При использовании устройства присоединения (датчика) марки «DB-2» для регистрации частичных разрядов в трансформаторе внутри него устанавливается дополнительный высокочастотный трансформатор тока, поэтому в этом случае можно называть устройство присоединения «DB-2» датчиком. Таким образом, следует разделять два понятия. Если речь идет только об основной функции устройства – регистрации токов проводимости вводов, – то правильнее говорить об устройстве присоединения марки «DB-2». Если же в одном устройстве совместно рассматриваются функции регистрации токов проводимости и высокочастотных импульсов частичных разрядов, то правильнее говорить о комплексном датчике марки «DB-2».

Установка комплексных датчиков марки «DB-2» позволяет наиболее просто и эффективно решать в системах мониторинга вопросы контроля состояния изоляции вводов и внутренней изоляции силовых трансформаторов. Информативность всех других типов датчиков, устанавливаемых на трансформаторах, за исключением датчиков контроля растворенных газов, всегда существенно ниже.

1.1.1. Особенности конструкции датчиков марки «DB-2».

Датчик (устройство присоединения) марки «DB-2» предназначен для одновременного измерения токов проводимости и импульсов частичных разрядов. Для этого он монтируется непосредственно на корпусе высоковольтного ввода конденсаторного типа, на измерительном выводе от последней обкладки. Выходной сигнал такого датчика является комплексным, состоящим из сигнала тока проводимости изоляции ввода, имеющего промышленную частоту, и высокочастотной составляющей, состоящей из импульсов частичных разрядов, возникших в изоляции вводов и обмоток трансформатора.

За счет использования датчиков марки «DB-2» при помощи систем мониторинга можно контролировать несколько очень важных параметров технического состояния трансформатора и его элементов:

- Величину тангенса угла диэлектрических потерь в изоляции высоковольтных вводов по сдвигу вектора тока проводимости ввода.
- Основную емкость высоковольтных вводов, обозначаемую на схемах замещения как параметр C_1 по величине тока проводимости ввода.
- Состояние и наличие дефектов различного типа в изоляции вводов и обмоток трансформатора по частичным разрядам.

Для обеспечения надежной работы контролируемого высоковольтного ввода во всех режимах работы трансформатора датчик (УП) марки «DB-2» должен:

- Надежно и достаточно герметично монтироваться на месте защитного колпачка, замыкающего на землю измерительный вывод. Это обеспечивается уникальным конструктивным исполнением датчика.

- Гарантировать напряжение на измерительном выводе на уровне, не превышающем допустимое значение. Это должно обеспечиваться в двух критических режимах - при высокочастотных импульсных воздействиях на трансформатор и при обрыве соединительного сигнального провода от датчика к измерительному прибору. Для реализации этого в датчик встроены специализированные защиты от внешних импульсных перенапряжений. Благодаря наличию этой защиты при всех импульсных воздействиях на трансформатор, как грозовых, так и коммутационных, максимальное напряжение на измерительном выводе ввода никогда не превышает допустимых паспортных значений. Внутри корпуса датчика «DB-2» также находится дополнительная защита от обрыва сигнального провода, прокладываемого от датчика к измерительному прибору системы мониторинга. Наличие этой защиты необходимо для предотвращения повреждения ввода при повреждении сигнального кабеля, так как сам ввод, являющийся классическим источником тока по отношению к внешней нагрузке измерительной цепи, может наводить на измерительном выводе очень большие напряжения.

Допустимая величина максимального напряжения на измерительном выводе ввода зависит от многих причин, в том числе от типа используемой системы мониторинга (защиты) ввода. Если датчик (УП) марки «DB-2» предназначен для использования с широко распространенными в России системами контроля изоляции вводов марки «КИВ-500», то максимальное напряжение на измерительном выводе контролируемого ввода должно ограничиваться встроенной защитой и не превышать 1000В. Эта величина обусловлена особенностями работы широко распространенной релейной версии системы «КИВ-500» в неполнофазном режиме.

Если система «КИВ-500» на контролируемом трансформаторе отсутствует, а диагностика состояния вводов осуществляется при помощи современной микропроцессорной системы мониторинга, то максимальное напряжение на измерительном выводе ввода ограничивается защитой существенно меньшим значением, обычно на уровне в 160В. По



Рис. 1.1. Модификации датчика «DB-2» для монтажа на вводах трансформаторов, выпускаемые фирмой «DIMRUS» раньше.

условиям безопасности работы и расчетным импульсным воздействиям на трансформатор это значение могло бы быть и еще меньше, но в этом случае уже будет наблюдаться заметное влияние используемых элементов защиты на точность измерения параметров вводов, что особенно сильно проявится при колебаниях температуры ввода (трансформатора).

Изначально датчик «DB-2» был представлен в производственной программе фирмы в 30 разновидностях конструктивного исполнения. Необходимость такого большого количества модификаций датчика обусловлена тем, что в промышленной эксплуатации находится большое количество вводов различных фирм производителей, имеющих конструктивные отличия посадочных

мест, на которые должен устанавливаться датчик (УП) марки «DB-2». Некоторые модификации датчиков, производимых фирмой «DIMRUS» ранее, показаны на рисунке 1.1.

В последнее время конструкторами фирмы была проведена большая техническая работа по усовершенствованию конструкции и унификации типоразмеров датчиков. Благодаря этому выпускаемые в настоящее время фирмой датчики марки «DB-2» теперь имеют корпус единого внешнего размера, в котором устанавливаются все необходимые

электрические и электронные компоненты защиты, и дополнительный набор переходных модулей - втулок для установки универсального корпуса датчика на вводах производства различных фирм.

Внутри корпуса датчика «DB-2», в зависимости от особенностей предполагаемого его использования, могут находиться различные наборы электронных компонентов защиты и согласования. Их состав зависит от предполагаемого рабочего напряжения контролируемого ввода, а также от типа системы контроля изоляции вводов, совместно с которой будут использоваться датчики.

Существенно отличаются датчики «DB-2», предназначенные для использования с релейной системой защиты вводов марки «КИВ-500», которая предъявляет особые



Рис. 1.2. Стандартные модификации датчика (устройства присоединения) марки «DB-2».

требования к ограничению напряжений на измерительном выводе ввода. Поскольку эта система дополнительно обрабатывает неполнофазные режимы работы контролируемого трансформаторного оборудования, величина максимального напряжения на измерительном выводе ограничена до 1000В. При ограничении этого напряжения на уровне меньшем, чем 500В, возможна некорректная работа защитного реле марки «КИВ-500».

Для всех датчиков (УП) марки «DB-2», работающих с другими типами систем контроля вводов и мониторинга трансформаторного оборудования, максимально допустимое напряжение на измерительном выводе контролируемого ввода ограничивается в датчике уровнем в 160В, что более безопасно для работы ввода во всех режимах.

В состав переходного модуля для установки датчика «DB-2» на измерительном выводе входят сам корпус и соединительный электрический контакт для подключения к измерительному выводу. Конструкция переходного корпуса и соединительного контакта для каждого типа вводов (конструкции корпуса измерительного вывода) является уникальной. Для большинства типов измерительных выводов используется разъем типа «мультиконтакт», изготовленный из пружинистой бронзы. Исполнение этого разъема видно на рисунке 1.2. на переднем плане.

1.1.2. Выбор устройства присоединения марки «DB-2».

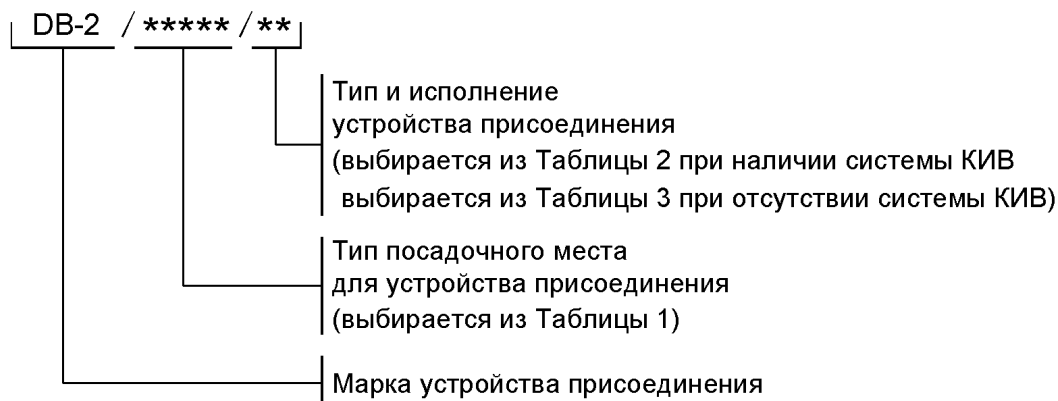
Для каждого конкретного типа высоковольтного трансформаторного ввода конфигурация датчика (устройства присоединения) марки «DB-2» выбирается:

- из 11 вариантов стандартного корпуса устройства присоединения, различающихся параметрами элементов встроенной защиты;
- из 10 вариантов серийно выпускаемых переходных корпусов, предназначенных для вводов различных марок.

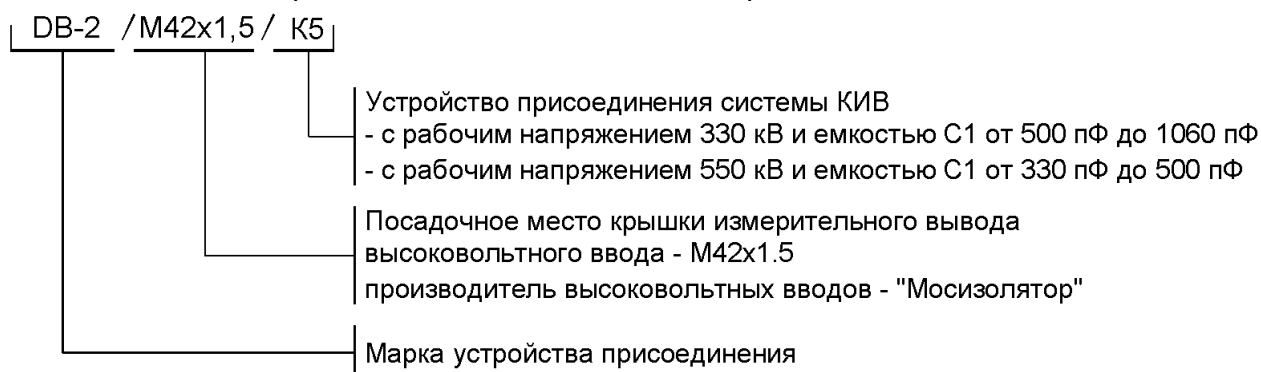
В перечень выпускаемых переходных корпусов здесь не включены еще не менее чем 10 дополнительных модификаций переходных корпусов, которые используются очень редко, может быть они были использованы всего лишь однократно. Кроме того, количество серийных модификаций вводов с различными посадочными местами постоянно увеличивается, в результате чего номенклатура производимых переходных корпусов для датчиков (УП) марки «DB-2» расширяется.

Маркировка датчика (УП) марки «DB-2» состоит из марки, описания типа посадочного устройства на измерительном выводе ввода и описания особенностей конфигурации параметров защитных элементов, установленных внутри корпуса.

Внешне маркировка устройства присоединения выглядит следующим образом:



В качестве примера ниже приведена маркировка устройства присоединения для вводов 330 – 550 кВ производства завода «Мосизолятор»:



Тип посадочного места для устройства присоединения марки «DB-2» ориентировочно может быть выбран по таблице 1. Поскольку производители вводов не всегда однозначно связывают марку ввода с типом посадочного места для крышки измерительного вывода, то эту информацию необходимо каждый раз дополнительно уточнять, используя для этого имеющуюся техническую документацию на ввод.

Таблица 1.

	Тип посадочного места для УП марки «DB-2»	Производитель вводов	Марки вводов
1	UNF 2,25" 12/inc	«ABB», «TRENCH»	OTA, COT, ETA, GOE, GSB
2	M16x1,5	«ABB», «TRENCH»	OTA, COT, ETA, ETG
3	TP 3/4"	«ABB»	BRIT, RTXF, RTKF
4	M24x1,5	«HSP»	SETFt, ETFTt, STARIP
5	M30x2	«ABB»	GSA, GSB
6	M30x1,5	«HSP», «MGC»	EKTO, ETFTt, TRAVESCA
7	M42x1,5	«Мосизолятор»	ГКТ, КТкб
8	M39x2	«Мосизолятор»	
9	Δ56	«Мосизолятор»	ГБМТ, ГМТ, ГТТ, ГМР
10	box	«ABB»	

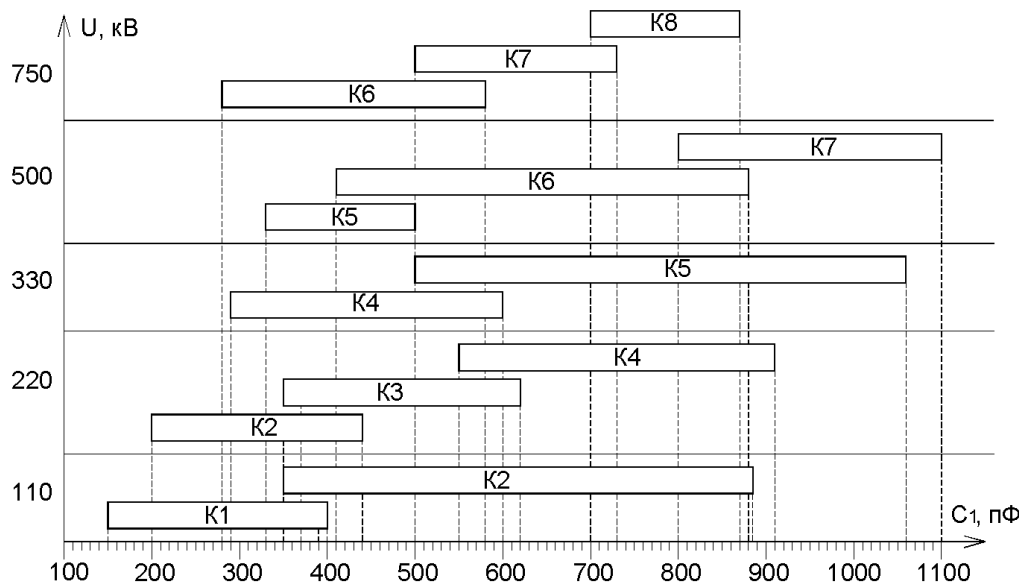
Модификация самого устройства присоединения, зависящая от параметров элементов встроенной защиты, выбирается с использованием таблиц 2 и 3.

Если предполагается работа устройства присоединения с системой мониторинга (защиты) вводов типа «КИВ-500», то для выбора необходимо пользоваться таблицей 2. В этой таблице необходимо выбрать исполнение встроенной защиты, маркируемой в диапазоне от K1 до K8 по величине рабочего напряжения ввода и емкости C₁. Чем меньше

рабочее напряжение контролируемого ввода и меньше его емкость C_1 , тем на меньший рабочий ток рассчитана встроенная защита данного устройства присоединения.

Одно и то же устройство присоединения может быть использовано для вводов с разным рабочим напряжением. При этом необходимо учитывать, что чем больше будет рабочее напряжение контролируемого ввода, тем на меньший ток (емкость ввода C_1) может быть использовано устройство присоединения. Это обусловлено максимально допустимым значением напряжения на измерительном выводе, возникающим при импульсных перенапряжениях или обрыве соединительного сигнального кабеля.

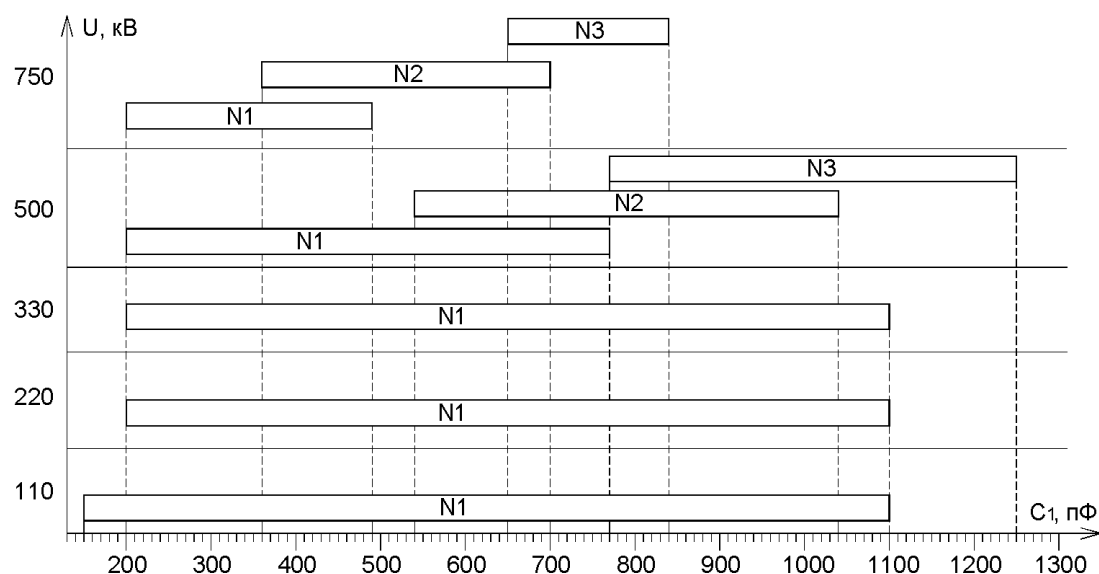
Таблица 2.



Если устройство присоединения предназначено для подключения современных микропроцессорных систем защиты и мониторинга состояния высоковольтных вводов, то используются устройства присоединения серии N (Normal), выходное напряжение которых ограничено величиной до 160 В.

Доступны три модификации такого устройства присоединения, выбор одной из которых может быть произведен при помощи таблицы 3.

Таблица 3.



Исполнение устройства присоединения «N1» является универсальным.

Исполнения «N2» и «N3» применяются только для вводов высших классов рабочих напряжений.

2. Датчики для регистрации импульсов частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования.

Фирма «DIMRUS» производит и поставляет практически весь спектр первичных датчиков различных типов, используемых для регистрации частичных разрядов. Эти датчики могут быть использованы в научных целях, применяются с переносными диагностическими приборами, входят в состав систем мониторинга, используемых для контроля состояния изоляции высоковольтного оборудования.

В данном разделе приведена информация только о специализированных датчиках, предназначенных для регистрации частичных разрядов. Сюда включена информация о датчиках, производимых в настоящее время фирмой «DIMRUS», или производимых другими фирмами по нашим чертежам и по нашему заказу. Информация о датчиках, производимых фирмой ранее, но в настоящее время снятых с производства, приведена не в полном объеме.

2.1. Высоковольтные конденсаторы связи марки «СС».

Основное назначение измерительных конденсаторов связи марки «СС» (Coupling Capacitor) – регистрация частичных разрядов в высоковольтных цепях. Конденсаторы связи марки «СС» монтируются рядом с контролируемым оборудованием и являются единственным типом датчиков, которые непосредственно и гальванически подключаются к высоковольтным цепям.

Высоковольтный измерительный конденсатор связи представляет собой набор достаточно большого количества последовательно включенных конденсаторов, что необходимо для получения высокого рабочего напряжения. Обычно такой интегральный конденсатор является верхним плечом емкостного делителя напряжения. Нижнее плечо измерительного делителя может быть смонтировано непосредственно внутри конденсатора связи, а чаще всего является внешним дополнительным элементом. Иногда в качестве нижнего плеча делителя напряжения могут быть использованы входные цепи измерительного прибора.

Величина выходного напряжения измерительного конденсатора связи не зависит от частоты регистрируемых импульсов, если и в нижнее плечо высоковольтного делителя также включается конденсатор. Если в качестве нижнего плеча высоковольтного делителя используется активное сопротивление, то выходное напряжение с такого «емкостно – активного» делителя станет частотно зависимым: оно будет возрастать с увеличением частоты регистрируемых импульсов.

Если же в нижнем плече делителя напряжения с измерительным конденсатором связи использовать индуктивность, то выходное напряжение такого делителя будет еще более сильно возрастать с увеличением частоты регистрируемого сигнала, чем при использовании для этих целей активного сопротивления. При использовании в качестве второго плеча делителя R или L существует вероятность повреждения измерительной аппаратуры от воздействия высокочастотных перенапряжений. Это накладывает повышенные требования к системам защиты этих датчиков.

Надежность работы измерительного конденсатора связи во многом зависит от качества и стабильности диэлектрика используемых элементарных конденсаторов, к качеству которого предъявляются жесткие требования по стойкости во всех режимах работы. Критическими, с точки зрения обеспечения надежности работы конденсатора, являются не рабочие режимы, а аномальные режимы, когда на него происходит воздействие высокочастотных импульсных перенапряжений, и испытательные режимы, во время которых к конденсатору прикладываются повышенные переменные или постоянные напряжения.

Вторым параметром, влияющим на надежность работы конденсатора связи, является длина поверхностных путей утечки, величина которого является критическим параметром для работы всех высоковольтных изоляторов.

Требования к установке и подключению измерительного конденсатора связи:

Внутри измерительного конденсатора связи обычно отсутствуют встроенные элементы защиты, что делается для обеспечения универсальности его практического применения. По этой причине при проведении измерений частичных разрядов с использованием таких датчиков, подключенных к высокому напряжению, необходимо обязательно соблюдать ряд условий, предназначенных для обеспечения надежной работы и безопасности персонала:

- «Нижний» вывод конденсатора связи должен быть надежно закреплен на металлическом заземленном основании, или же надежно заземлен проводником необходимого сечения (не менее 2,5 мм²). Вся цепь заземления конденсатора связи должна легко визуальнo контролироваться.

- Подключение конденсатора связи к высоковольтным цепям должно производиться проводником сечением не менее 20 мм², что делается для максимального снижения уровня паразитных коронных разрядов. Наличие и тип внешней изоляции этого соединительного проводника определяются условиями его прокладки внутри контролируемого оборудования.

- На входе измерительного прибора, к которому подключается конденсатор связи, обязательно должны быть предусмотрены надежные средства защиты от мощных высокочастотных высоковольтных импульсов, желателен дублирование. Такие опасные импульсы могут возникнуть в контролируемом высоковольтном оборудовании при коммутационных процессах, или же могут быть наведены в оборудование извне.

Измерительные конденсаторы связи различных марок могут быть использованы для регистрации частичных разрядов:

- в электрических генераторах, электродвигателях;
- в высоковольтных выключателях;
- в ячейках КРУ и подходящих к ним кабельных линиях;
- в силовых трансформаторах на стороне НН (6 – 35 кВ).

Наиболее важными параметрами измерительного конденсатора связи являются:

- номинальное рабочее напряжение;
- испытательное напряжение и условия его приложения;
- величина емкости конденсатора;
- тип диэлектрика, определяющий температурный диапазон работы конденсатора.

Наиболее важные сравнительные характеристики конденсаторов связи различного типа, производимых фирмой «DIMRUS», и область их предпочтительного применения приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1.

Параметр	СС-XX/I	СС-XX/M	СС-XX/U
Емкость, пф	20, 15, 10	80	800, 400
Номинальное напряжение, кВ	12, 24, 36	10, 20	12, 36
Область применения	Приборы марки IDR	Генераторы моторы, КРУ	Генераторы моторы, КРУ
Рабочая температура	-25 ÷ +55	-40 ÷ +80	-40 ÷ +70

Общие рекомендации для выбора измерительных конденсаторов связи:

- Конденсаторы связи марки «СС-XX/I» с малой емкостью предназначены для использования в качестве комплексных датчиков частичных разрядов и наличия высокого напряжения на шинах КРУ в реле контроля изоляции высоковольтного оборудования марки «IDR».

- Конденсаторы связи марки «СС-XX/M» с емкостью 80 пф изготавливаются с использованием высококачественного слюдяного диэлектрика и применяются, в основном, для регистрации частичных разрядов в изоляции статоров высоковольтных электрических машин различного типа.

- Конденсаторы связи марки «СС-XX/R» изготавливаются с использованием набора современных конденсаторов с ленточным диэлектриком и, благодаря повышенной емкости, имеют более высокую чувствительность к регистрируемым частичным разрядам. Конденсаторы связи этой марки имеют универсальное применение.

2.1.1. Конденсаторы связи марки «СС-XX/I».

Конденсаторы связи марки «СС-XX/I» (Coupling Capacitor, рабочее напряжение **XX** кВ, Indicator type), предназначены для регистрации частичных разрядов в высоковольтных шинах с рабочим напряжением $6 \div 36$ кВ и независимого (без использования дополнительного источника питания) контроля наличия высокого напряжения.



Рис. 2.1.1. Конденсаторы связи марки «СС-10/I» индикаторного типа.

При использовании конденсаторов связи марки «СС-XX/I» для регистрации частичных разрядов в изоляции и диагностики дефектов в высоковольтном оборудовании, их подключают к входным цепям реле контроля изоляции марки «IDR», специально разработанного для работы с такими конденсаторами. Это компактное интеллектуальное реле одновременно является и автономным индикатором наличия высокого напряжения на контролируемых шинах и выполняет функции измерительного и диагностического прибора регистрации и анализа частичных разрядов в высоковольтной изоляции.

Измерительное и диагностическое оборудование производства других фирм, разработанное для регистрации частичных разрядов в высоковольтном оборудовании, не может быть использовано с конденсаторами связи марки «СС-XX/I», так как их емкость очень мала и составляет всего от 10 до 20 пФ. В результате, при использовании конденсаторов связи такого типа, чувствительность обычных измерительных систем контроля частичных разрядов может оказаться недопустимо низкой.

Основные параметры конденсаторов связи марки «СС-XX/I» приведены в таблице 2.2. В состав этой серии входят три типоразмера конденсатора, отличающиеся величиной

Марка	U_p , кВ	C , пФ	Диапазон температур	Размеры, $H * D$, мм	Путь утечки, мм
СС-12/I	12	20	-25 ÷ +55	130 * 77	180
СС-24/I	24	15		210 * 85	300
СС-36/I	36	10		300 * 95	430

емкости и рабочим напряжением.

Как видно из таблицы, с ростом рабочего напряжения емкость конденсатора уменьшается. Это сделано для того, чтобы можно было унифицировать

параметры входных цепей измерительных индикаторов и приборов, с которыми используются эти конденсаторы связи.

Поскольку конденсаторы связи марки «СС-XX/I» рассчитаны только на внутреннюю установку, диапазон их рабочих температур может оказаться недостаточным для использования в некоторых промышленных применениях, когда необходима наружная установка диагностического оборудования.

Габаритные размеры конденсаторов связи марки «СС-XX/I» соответствуют размерам стандартных опорных изоляторов, они имеют необходимую прочность на изгиб, поэтому монтаж таких конденсаторов не вызывает значительных сложностей. Конденсатор связи легко монтируется на место одного из опорных изоляторов, необходимо только дополнительно выполнить на панели отверстие для измерительного вывода конденсатора.

Подключение конденсаторов связи «СС-XX/I» к приборам регистрации частичных разрядов обязательно должно осуществляться при помощи коаксиального кабеля типа «RG-50». Причиной этого является малая внутренняя емкость конденсатора, поэтому при использовании для соединения конденсатора с прибором не экранированного кабеля может многократно вырасти уровень наведенных в кабеле высокочастотных помех, затрудняющих проведение диагностики состояния изоляции контролируемого высоковольтного оборудования.

2.1.2. Конденсаторы связи марки «СС-XX/М».

Измерительные конденсаторы связи марки «СС-XX/М» (**C**oupling **C**apacitor, рабочее напряжение **XX** кВ, **M**otor type), предназначены для использования в системах регистрации и анализа частичных разрядов в обмотках статоров мощных высоковольтных электрических моторов и генераторов, а также на шинах КРУ среднего класса напряжений.



Рис. 2.1.2.1.
Конденсатор
связи «СС-10/М»
на основании.

Конденсаторы связи марки «СС-XX/М» имеют две отличительные конструктивные особенности:

- Встроенный внутрь конденсатор выполнен в виде моноблока на основе прокладок из высококачественного слюдяного диэлектрика и расширительных металлических прокладок, залитого в общий объем конденсатора с закладной арматурой общим эпоксидным компаундом.

- Емкость конденсатора связи равняется 80 пФ, так как именно это значение достаточно долго принималось как некий стандарт для систем измерения частичных разрядов в обмотках крупных электрических машин.

Достоинствами конденсаторов связи «СС-XX/М» со слюдяным диэлектриком являются высокая стабильность их параметров, повышенная стойкость к возникновению внутренних частичных разрядов в слюдяном диэлектрике. Использование высококачественной слюдяной изоляции позволяет значительно расширить температурный диапазон использования измерительных конденсаторов связи марки «СС-XX/М».



Рис. 2.1.2.2.
Конденсатор
связи «СС-20/М».

Наряду с наличием очевидных достоинств, измерительные конденсаторы связи марки «СС-XX/М» со слюдяной изоляцией обладают существенными конструктивными и эксплуатационными недостатками, основными из которых являются:

- Невозможность проведения испытаний высоковольтной изоляции контролируемого оборудования (с подключенными конденсаторами связи) повышенным постоянным напряжением. Такие испытания, в силу конструктивных особенностей конденсаторов, могут привести к пробое изоляции конденсатора.

- Сравнительно низкая емкость слюдяных конденсаторов, всего 80 пФ, обусловленная конструктивными особенностями использования слюдяной изоляции. Это существенно ограничивает возможности применения таких конденсаторов в некоторых практических приложениях систем регистрации частичных разрядов.

- Высокая стоимость конденсаторов со слюдяным диэлектриком, так как месторождения качественной слюды располагаются только в Индии.

- Несоответствие габаритных размеров конденсаторов связи на основе слюдяного диэлектрика стандартным опорным изоляторам соответствующих классов напряжения, что ограничивает возможности их практического применения.

Марка	U_{pr} , кВ	C , пФ	Диапазон температур	Размеры, $H * D$, мм	Путь утечки, мм
СС-10/М	10	80	-40 ÷ +80	150 * 102	180
СС-20/М	20	80		253 * 102	300

Основные параметры конденсаторов связи «СС-XX/М» со слюдяным диэлектриком приведены в таблице 2.3. Как уже указывалось выше, такие

конденсаторы связи чаще всего используются для регистрации частичных разрядов в обмотках статоров высоковольтных электрических машин, так как работают в расширенном температурном диапазоне.

Монтаж конденсаторов связи марки «СС-XX/М» внутри высоковольтного оборудования обычно осуществляется с использованием дополнительного переходного основания, в

котором располагаются все элементы защиты входных цепей измерительного прибора от импульсных перенапряжений и обычно «второе плечо» емкостного измерительного делителя напряжения.

2.1.3. Конденсаторы связи марки «СС-XX/U».

Конденсаторы связи марки «СС-XX/U» (**C**oupling **C**apacitor, рабочее напряжение **XX** кВ, **U**niversal type), предназначены для регистрации частичных разрядов в высоковольтных шинах КРУ с напряжением $6 \div 35$ кВ, в обмотках статоров крупных электрических машин, электродвигателей и генераторов, а также для большинства других типов высоковольтного оборудования.



Рис. 2.1.3. Конденсатор связи марки «СС-12/U» с полимерным диэлектриком, с монтажным основанием и без него.

Отличительным параметром конденсаторов связи марки «СС-XX/U» является повышенная внутренняя емкость, значительно превышающая емкость конденсаторов связи марки «СС-XX/M».

Это является достоинством для конденсаторов связи, так как благодаря этому значительно повышается реальная чувствительность систем регистрации и анализа частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования.

Вторым достоинством использования конденсаторов связи повышенной емкости является то, что при проведении регистрации существенно снижается вредное влияние высокочастотных помех,

которые наводятся на сигнальные кабели и входные цепи измерительных приборов.

Изготовить высоковольтный конденсатор (моноблок) такой сравнительно большой емкости со слюдяным диэлектриком технически не представляется возможным, поэтому для этих целей используется набор последовательно включенных конденсаторов, каждый из которых рассчитан на меньшее напряжение. Наиболее широкое применение находят конденсаторы, созданные с использованием современной полимерной изоляции, обладающей необходимыми температурными свойствами, стойкостью к мощным высоковольтным высокочастотным импульсам и стабильностью параметров.

Количество последовательно включенных элементарных конденсаторов обычно выбирается с большим запасом. Это делается для того, чтобы обеспечить необходимую стойкость конденсатора связи не только к рабочему напряжению, но и к повышенному испытательному напряжению, и к высокочастотным импульсным перенапряжениям, которые могут возникать в контролируемом оборудовании.

Марка	U_{pr} , кВ	C , пф	Диапазон температур	Размеры, $H * D$, мм	Путь утечки, мм
СС-12/U	12	800	-40 ÷ +70	130 * 77	180
СС-24/U	36	400		300 * 95	430

Основные технические параметры конденсаторов связи повышенной емкости на основе полимерного диэлектрика, поставляемых

фирмой «DIMRUS», приведены в таблице 2.4.

Из таблицы видно, что конденсаторы связи этого типа по своим основным габаритным параметрам полностью соответствуют опорным изоляторам. Поэтому монтаж конденсаторов связи марки «СС-XX/U» внутри контролируемого высоковольтного оборудования производится на стандартные установочные места, предназначенные для опорных изоляторов.

2.2. Датчики трансформаторного типа серии «RFCT», работающие в HF диапазоне частот.

Датчики серии «RFCT» (**R**adio **F**requency **C**urrent **T**ransformer), предназначенные для регистрации частичных разрядов в изоляции различного высоковольтного оборудования, представляют собой измерительные трансформаторы тока, эффективно работающие в высокочастотном (HF) диапазоне частот.

В отличие от обычных измерительных трансформаторов тока сердечник «RFCT» датчиков изготавливается не из листовой электротехнической стали, а из специализированных высокочастотных материалов – ферритов. В результате датчики этого типа малочувствительны к токам промышленной частоты, но позволяют хорошо регистрировать периодические и импульсные сигналы в диапазоне частот от сотен килогерц до десятков мегагерц, в зависимости от используемого материала сердечника.

Уровень частичных разрядов в высоковольтной изоляции находится примерно в одном диапазоне, составляет от десятков пикокулон до десятков нанокулон, и мало зависит от типа контролируемого высоковольтного оборудования. Поэтому датчики типа «RFCT», в отличие от измерительных трансформаторов тока промышленной частоты, имеют одинаковую чувствительность для всех практических применений, определяемую только особенностями их конструкции.

Датчики регистрации частичных разрядов типа «RFCT», как и все другое диагностическое оборудование, используемое для этих целей, после изготовления не проверяются, а только тестируются на работоспособность и общее соответствие требованиям технических условий на изготовление. Необходимая калибровка чувствительности датчиков типа «RFCT» всегда производится «на месте» проведения измерений, с учетом особенностей созданной измерительной схемы. При этом автоматически учитывается не только реальная чувствительность датчиков, но и степень затухания импульсов частичных разрядов внутри контролируемого оборудования, в соединительных кабелях и во входных цепях измерительных приборов.

По своей конструкции датчики «RFCT» делятся на три типа:

- Неразъемные стационарные датчики кольцевой конструкции, монтируемые на заземляющих проводах и шинах на отключенном оборудовании. Обычно такие датчики поставляются со стационарно подключенным сигнальным кабелем.

- Датчики с разъемным сердечником, легко монтируемые на проводниках и шинах даже работающего контролируемого оборудования, обычно используемые для проведения оперативных измерений частичных разрядов. Подключение сигнального кабеля к таким датчикам производится при помощи коаксиального разъема.

- Модульные датчики частичных разрядов, предназначенные для измерений в слаботочных цепях, включаемые в разрыв соединительного провода (на отключенном оборудовании). Такой тип конструкции применяется и для комплексных датчиков, предназначенных, кроме контроля частичных разрядов, для измерения дополнительных параметров оборудования.

Изоляция корпусов, соединительных кабелей и выходных разъемов датчиков типа «RFCT» конструктивно рассчитана на напряжение до 1000В. По этой причине датчики частичных разрядов трансформаторного типа всегда устанавливаются только на проводниках или шинах заземления (с внешней изоляцией или без изоляции) высоковольтного оборудования (корпусов, баков, обмоток, экранов и т. д.). Установка датчиков частичных разрядов типа «RFCT» на высоковольтных токоведущих проводах высокого напряжения или в точках оборудования, где высокое напряжение может возникнуть даже кратковременно, например, в изолированной нейтрали трехфазной цепи, категорически запрещена.

В настоящее время фирмой «DIMRUS» серийно производятся девять разновидностей высокочастотных трансформаторов тока типа «RFCT». Основная справочная информация о конструкции этих датчиков, их частотные характеристики и особенности практического применения приведены ниже.

Сводная таблица 2.5. показывает основные габаритные и весовые параметры основных семи датчиков серии «RFCT», выпускаемых фирмой «DIMRUS».

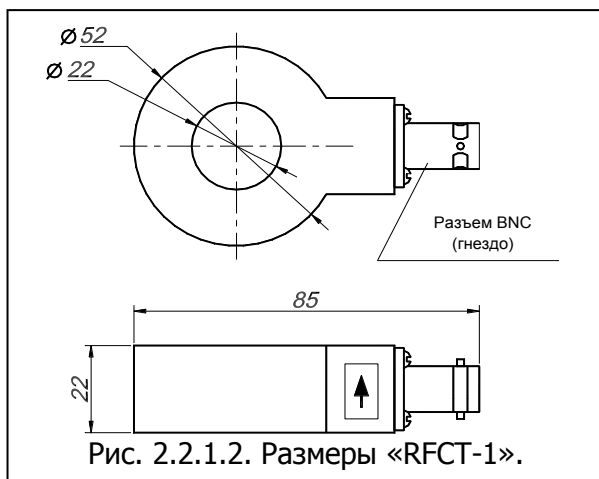
Марка	Ширина, мм	Высота, мм	Длина, мм	Масса, кг
RFCT-1	83	52	21	0,10
RFCT-2	50	82	51	0,12
RFCT-3	40	40	13	0,04
RFCT-4	145	160	24	0,72
RFCT-5	77	170	23	0,18
RFCT-6	26	285 (65 без ручки)	60	0,28
RFCT-7	122	114	28	0,48

2.2.1. Датчик частичных разрядов марки «RFCT-1».

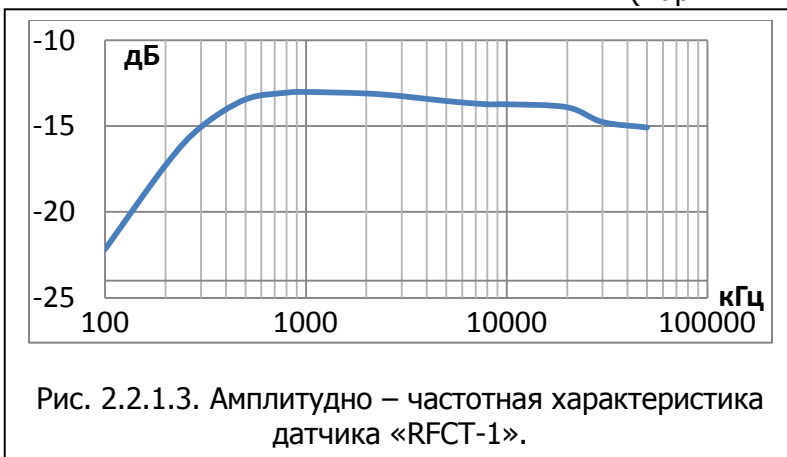


Трансформаторный датчик марки «RFCT-1» предназначен для использования в системах регистрации и анализа частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования. Основное назначение датчика – проведение измерения частичных разрядов в системах непрерывного или периодического контроля состояния высоковольтного оборудования.

Датчик марки «RFCT-1» может быть использован для регистрации высокочастотных импульсов от частичных разрядов в высоковольтных выключателях, ячейках КРУ, в подходящих к ним кабельных линиях, в цепях нейтрали силовых трансформаторов и в других высоковольтных объектах. Для проведения регистрации частичных разрядов датчик устанавливается на проводниках и шинах заземления контролируемого оборудования. Направление стрелки на корпусе датчика должно совпадать с направлением протекания тока в контролируемом проводнике от высокого потенциала «к земле».



Датчик марки «RFCT-1», в соответствии с требуемыми условиями монтажа и заказной спецификацией, может поставляться с соединительным коаксиальным разъемом (марки BNC или TNC) или с «глухо»



подключенным коаксиальным кабелем длиной 15 метров. Длина соединительного кабеля может варьироваться в соответствии с утвержденными требованиями заказной спецификации.

Датчик «RFCT-1» не требует периодической поверки. Для него достаточно калибровки на объекте контроля и периодической проверки его работоспособности.

2.2.2. Датчик частичных разрядов марки «RFCT-2».



Рис. 2.2.2.1. Датчик частичных разрядов марки «RFCT-2».

Основное назначение датчика «RFCT-2» – регистрация импульсов от частичных разрядов в генераторах, трансформаторах, ячейках КРУ и других высоковольтных объектах.

Внутри изолированного корпуса датчика «RFCT-2» расположен залитый компаундом маломощный сигнальный высокочастотный трансформатор. Первичная обмотка трансформатора подключена к входному винтовому соединителю М4 через разделительный высоковольтный конденсатор. Вторичная обмотка трансформатора, к которой подключается измерительный прибор, выведена на

стандартный коаксиальный разъем типа BNC.

Датчик «RFCT-2» предназначен для измерения частичных разрядов, которые можно зарегистрировать между двумя прямо не связанными частями высоковольтного оборудования. Особенностью является то, что между этими частями оборудования возможно

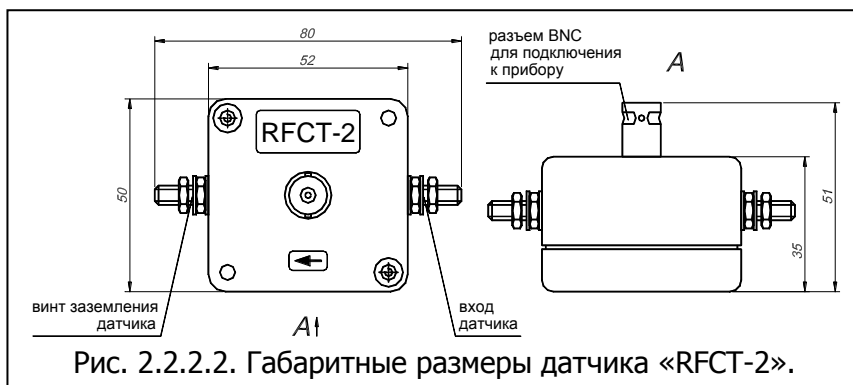


Рис. 2.2.2.2. Габаритные размеры датчика «RFCT-2».

возникновение потенциала до десятков вольт, при замыкании которого возможно протекание уравнивающих токов большой величины.

Это может быть, например, измерение частичных разрядов между корпусом высоковольтного генератора и экраном отходящего от него

токопровода. Или же это может быть измерение частичных разрядов между корпусами (баками) двух силовых трансформаторов (или отдельных фаз группового силового трансформатора), потенциал между которыми, в случае протекания значительных уравнивающих токов по цепям заземления, может достигать величины нескольких вольт и даже десятка вольт.

Датчик «RFCT-2» поставляется в пластиковом (АВС) корпусе, в котором располагается высокочастотный трансформатор и разделительные конденсаторы. Весь свободный внутренний объем внутри датчика заливается эпоксидной смолой или специализированной

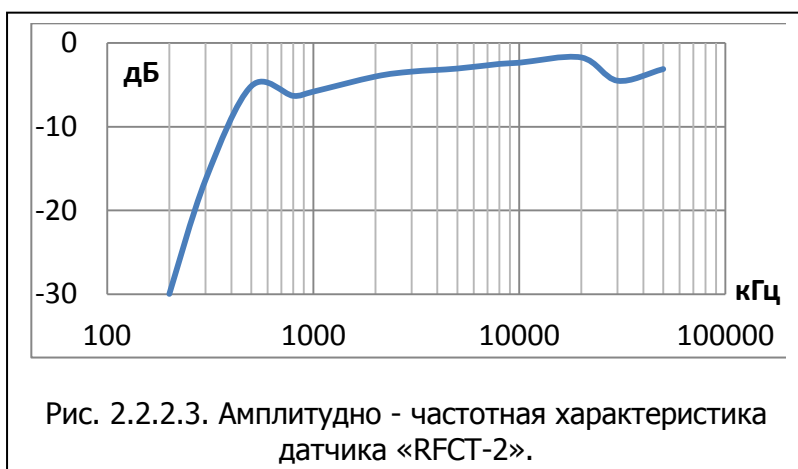


Рис. 2.2.2.3. Амплитудно - частотная характеристика датчика «RFCT-2».

силиконовой резиной, в зависимости от условий будущей эксплуатации.

Благодаря использованию в конструкции датчика высокочастотного разделительного трансформатора, в выходном сигнале датчика отсутствуют токи промышленной частоты 50 герц, а присутствуют только сигналы от высокочастотных импульсов, протекающих по контролируемой цепи

заземления высоковольтного устройства, в основном обусловленные импульсами частичных разрядов в изоляции.

2.2.3. Датчик частичных разрядов марки «RFCT-3».

Датчик частичных разрядов марки «RFCT-3» является вспомогательным, обычно он используется для создания гальванической развязки между контролируемой цепью и измерительным прибором. Это бывает нужным для устранения уравнительных токов промышленной частоты и для организации безопасности проведения работ при измерении частичных разрядов в изоляции.



Рис. 2.2.3.1. Датчик частичных разрядов марки «RFCT-3».

Внутри изолированного корпуса датчика «RFCT-3», залитого компаундом, располагается только разделительный высокочастотный трансформатор с коэффициентом трансформации, равным единице, подключенный к двум разъемам марки BNC.

Разделительный конденсатор, смонтированный в первичной цепи датчика марки «RFCT-2», здесь отсутствует. Поэтому через входную цепь датчика «RFCT-3» могут протекать токи промышленной частоты (величиной не более 1А). По этой причине датчик марки «RFCT-3», включаемый в

разрыв контролируемой цепи, не препятствует протеканию токов промышленной частоты, имеющих место в контролируемой цепи.

По своей амплитудно-частотной характеристике датчик «RFCT-3» соответствует датчику «RFCT-2», так как в них используется одинаковый высокочастотный разделительный трансформатор на ферритовом сердечнике.

Некоторое время датчик «RFCT-3» поставлялся в комплекте со специализированными соединительными проводами под торговой маркой «DBT-1». Этот комплект был предназначен для проведения тестовых испытательных измерений и позволял проводить регистрацию частичных разрядов в силовых трансформаторах. С этой целью через первичную обмотку замыкался на землю измерительный вывод высоковольтных вводов трансформаторов. Практика проведения измерений показала, что в этом случае не удается измерить ток проводимости ввода, что снижало эффективность таких испытаний. В настоящее время для этих целей предлагаются датчики марки «DB-2» различных модификаций.

2.2.4. Датчик частичных разрядов марки «RFCT-4».

Датчик «RFCT-4» предназначен для регистрации частичных разрядов в системах постоянного и периодического мониторинга состояния изоляции высоковольтного оборудования - в высоковольтных выключателях, ячейках КРУ, подходящих к ним и отдельно расположенных кабельных линиях, в цепях нейтрали силовых трансформаторов и в другом оборудовании.



Рис. 2.2.4.1. Датчик частичных разрядов марки «RFCT-4».

Отличительной конструктивной особенностью датчика марки «RFCT-4» является то, что он выполнен разъемным, состоящим из двух половин. Это позволяет оперативно монтировать датчики на оборудовании, не разрывая контролируемую электрическую цепь. Кроме того, датчик имеет сравнительно большой внутренний диаметр, позволяющий монтировать его на токоведущих элементах большого сечения, которые часто применяются в составе мощного высоковольтного оборудования.

Половинки датчика, при использовании в составе системы постоянного контроля, стационарно соединяются между собой «скрытыми болтами». При использовании датчика в составе переносных измерительных систем

применяются другие болты, более удобные для быстрой фиксации половинок датчика между собой без использования инструмента.

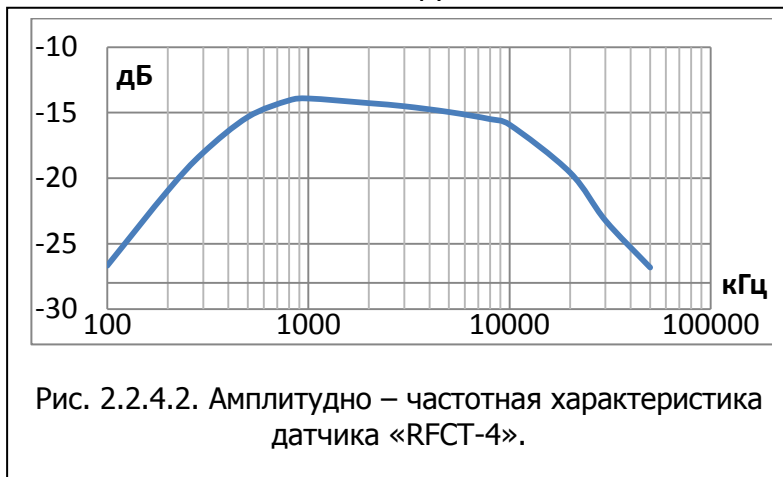


Рис. 2.2.4.2. Амплитудно – частотная характеристика датчика «RFCT-4».

Как и все другие датчики этой серии «RFCT-4» предназначен для установки только в цепях заземления высоковольтного оборудования, поэтому его электрическая изоляция рассчитана на напряжение до 1000 вольт.

Кроме того, датчик марки «RFCT-4» имеет увеличенное сечение ферритового сердечника, поэтому мощные высокочастотные импульсы в контролируемом проводнике приводят к импульсам

большой энергии во вторичной цепи, представляющим опасность для персонала и диагностического измерительного оборудования. Этот факт необходимо учитывать при

разработке и создании измерительной схемы, всегда предусматривая дополнительные защитные и заземляющие устройства во входных цепях измерительных приборов регистрации частичных разрядов. Для снижения влияния этого фактора в датчик встроена защита от импульсных токов (коммутационных) с ограничением выходного напряжения на уровне 15 В.

Поскольку датчик марки «RFCT-4» чаще всего монтируется на проводниках большого сечения, по которым возможно протекание токов промышленной частоты, то может происходить насыщение сердечника сильными внешними магнитными полями, что приводит к снижению чувствительности датчика. Для снижения уровня насыщения магнитопровода датчика в зазор сердечника между половинами датчика должна вставляться изолирующая прокладка толщиной до 2 мм, в зависимости от величины тока, протекающего по проводнику заземления. При этом уменьшается степень насыщения сердечника токами промышленной частоты.

Датчик производится в литом пластиковом (АВС пластик) корпусе, в двух половинах которого располагается разрезанный высокочастотный сердечник большого сечения и диаметра. Весь свободный внутренний объем

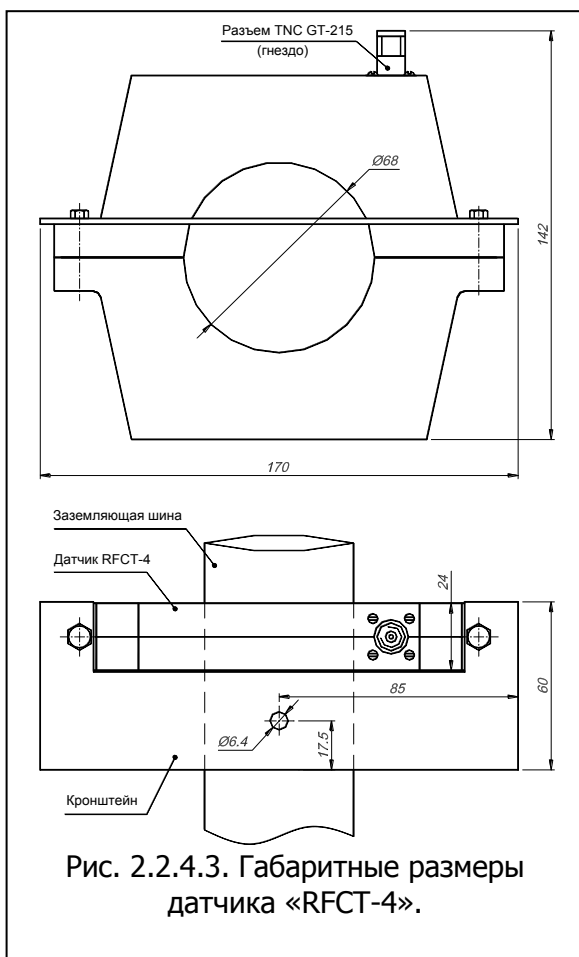


Рис. 2.2.4.3. Габаритные размеры датчика «RFCT-4».

датчика заливается эпоксидной смолой или специализированной силиконовой резиной. При наружной установке датчика с ним поставляется комплект крепления, дополнительно защищающий пластиковый корпус датчика от солнечной радиации.

Благодаря использованию в конструкции датчика высокочастотного сердечника, в выходном сигнале датчика отсутствуют токи промышленной частоты 50 герц, датчик на них не реагирует. В выходном сигнале датчика присутствуют только сигналы от высокочастотных импульсов, протекающих по контролируемой цепи заземления высоковольтного устройства, в основном обусловленные импульсами частичных разрядов в изоляции.

Датчик монтируется на заземляющих шинах, проводах, трубах. Направление стрелки на корпусе датчика должно совпадать с направлением протекания тока «к земле» в контролируемом проводнике.

Датчик не требует проведения независимой периодической поверки и калибровки. Это производится на объекте, после монтажа.

Для стационарных систем датчик выпускается с разъемом марки TNC (винтовое крепление) или с «глухо подключенным кабелем длиной 15 м, а для систем периодического мониторинга, использующих переносные приборы, с разъемом BNC.

2.2.5. Датчик частичных разрядов марки «RFCT-5».

Датчик «RFCT-5» предназначен для использования в системах периодического мониторинга состояния изоляции высоковольтного оборудования. Назначение датчика «RFCT-5» – регистрация импульсов от частичных разрядов в высоковольтных выключателях, ячейках КРУ и подходящих к ним кабельных линиях, в цепях нейтрали силовых трансформаторов и т. д.



Рис. 2.2.5.1. Датчик частичных разрядов марки «RFCT-5».

Датчик «RFCT-5» производится в литом пластиковом (АВС пластик) корпусе, в котором располагается высокочастотный сердечник. Конструктивно датчик представляет собой «разъемные» высокочастотные измерительные

клеммы, позволяющие проводить измерения частичных разрядов в проводниках с максимальным диаметром до 24 мм. Габаритные размеры датчика «RFCT-5» - 200 * 100 * 25 мм. Вес датчика – 0,5 кг.

Благодаря использованию в конструкции датчика высокочастотного сердечника, в выходном сигнале датчика отсутствуют токи промышленной частоты 50 герц, датчик на них не реагирует. Датчик регистрирует только сигналы от высокочастотных импульсов, протекающих по контролируемой цепи заземления высоковольтного устройства.

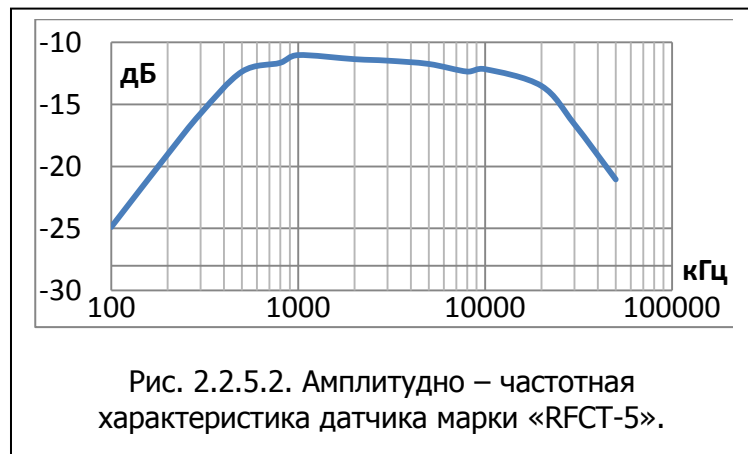


Рис. 2.2.5.2. Амплитудно – частотная характеристика датчика марки «RFCT-5».

Оптимальный рабочий диапазон частот для датчика составляет от 0,1 до 10 МГц. Этого диапазона вполне достаточно для систем регистрации импульсов частичных разрядов в высоковольтном оборудовании в диапазоне НФ.

Датчик производит измерения интенсивности частичных разрядов в любых цепях с рабочим

напряжением до 1000 В. Направление стрелки на боковом корпусе датчика должно совпадать с направлением протекания тока «к земле» в контролируемом проводнике, от высокого потенциала к «земляному».

Калибровка чувствительности датчика «RFCT-5» производится только в составе всей измерительной цепи – объект, емкостная связь, датчик и входные цепи прибора. Датчик не требует проведения периодической поверки и калибровки. Калибровка датчика, в комплексе с переносным измерительным прибором, производится однократно перед измерением, с учетом реального объекта, при помощи калибровочного генератора.

2.2.6. Датчик частичных разрядов марки «RFCT-6».

Датчик «RFCT-6» предназначен для использования в переносных системах периодического контроля состояния изоляции различного высоковольтного оборудования.

Основное технологическое назначение датчика «RFCT-6» – проведение оперативных измерений частичных разрядов без вывода контролируемого оборудования из работы.

Для измерения частичных разрядов датчик «RFCT-6» необходимо приблизить к заземляющим проводникам и шинам так, чтобы направление тока в проводнике совпадало с



Рис. 2.2.6.1. Датчик частичных разрядов «RFCT-6».

направлением стрелки на корпусе датчика. При этом корпус датчика будет располагаться перпендикулярно проводнику. По принципу своей работы датчик «RFCT-6» представляет собой «одну половину» датчика марки «RFCT-5» - высокочастотных токовых клещей.

Использование датчика марки «RFCT-6» с переносным прибором эффективно тогда, когда необходимо оперативно провести сравнительное измерение частичных разрядов в большом количестве точек. Это датчик «индикаторного» типа.

Датчик «RFCT-6» производится в металлическом корпусе, в котором располагается высокочастотный сердечник в форме полукольца. Весь свободный внутренний объем датчика заливается эпоксидной смолой или специализированной силиконовой резиной. Для удобства практического применения датчик «RFCT-6» комплектуется дополнительной изолированной ручкой.

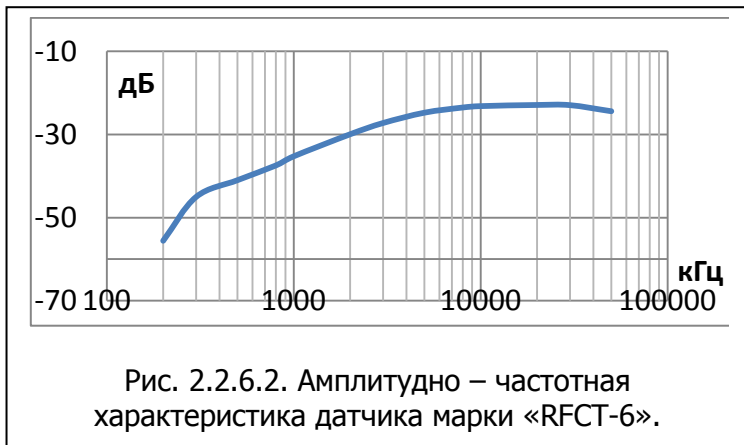


Рис. 2.2.6.2. Амплитудно – частотная характеристика датчика марки «RFCT-6».

При помощи датчика марки «RFCT-6» можно производить измерения интенсивности частичных разрядов в изолированных цепях с рабочим напряжением до 1000В. Датчик имеет металлический корпус, поэтому его приближение к оголенным проводникам и участкам оборудования с любым напряжением категорически запрещено.

Датчик марки «RFCT-6», по условиям своего практического применения, не может быть поверен,

и даже не может быть откалиброван. Причиной этого является то, что амплитуда выходного сигнала зависит от способа установки датчика относительно контролируемого проводника. Чем дальше датчик будет удален от контролируемого проводника или смещен вбок от проводника, тем меньше будет амплитуда выходного сигнала.

2.2.7. Датчик частичных разрядов марки «RFCT-7».



Рис. 2.2.6.1. Датчик частичных разрядов марки «RFCT-7».

Датчик «RFCT-7» предназначен для использования в системах постоянного и периодического мониторинга состояния изоляции высоковольтного оборудования. Наиболее эффективно использовать этот датчик для регистрации частичных разрядов в заземляющих проводниках высоковольтных кабельных линий.

Для удобства монтажа датчик сделан разъемным, состоящим из двух половин, соединяемых при помощи двух болтов. Это позволяет оперативно монтировать его на токоведущих элементах большого сечения, значительно расширяет возможности его практического применения.

Датчик производится в литом пластиковом (АВС пластик) корпусе, в двух половинах которого

располагается разрезанный высокочастотный прямоугольный сердечник большого сечения. Весь свободный внутренний объем датчика заливается эпоксидной смолой или специализированной силиконовой резиной.

Благодаря использованию в конструкции датчика высокочастотного сердечника, в выходном сигнале датчика отсутствуют токи промышленной частоты 50 герц, датчик на них

Цвет маркировки	Максимальный ток в проводнике, А
Зеленый	500
Оранжевый	1000

не реагирует. Для исключения насыщения сердечника датчика токами промышленной частоты в нем, в полукольце без обмотки, монтируется немагнитная прокладка. В зависимости от

толщины этой изолирующей прокладки, датчик «RFCT-7» без значительной потери точности измерений частичных разрядов допускает протекание токов различной амплитуды.

Для удобства маркировки толщины немагнитной прокладки, на ответной части датчика с прокладкой, согласно таблице 2.2.7., ставятся цветные метки, определяющие максимально допустимый ток промышленной частоты.

Учитывая наличие сердечника сравнительно большого сечения, в датчик «RFCT-7» встроена защита от импульсных токов (коммутационных) с ограничением выходного напряжения на уровне 15 В. Это сделано для защиты персонала и защиты входных цепей

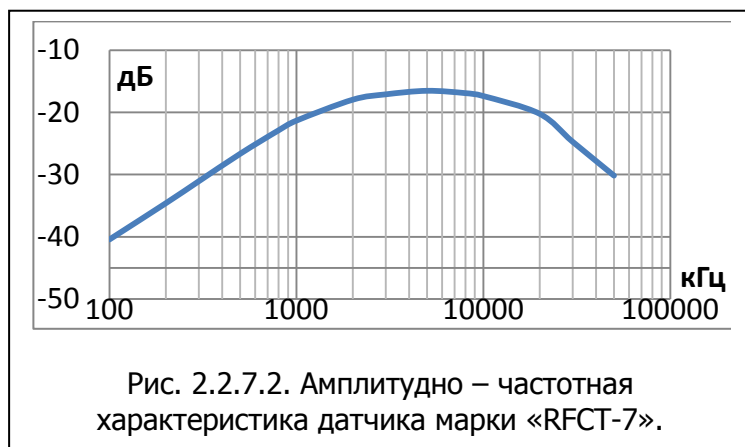


Рис. 2.2.7.2. Амплитудно – частотная характеристика датчика марки «RFCT-7».

измерительных приборов.

Корпусная изоляция датчика «RFCT-7» рассчитана на напряжение до 1000 В.

Датчик «RFCT-7», как и все другие датчики серии «RFCT», монтируется только на заземляющих шинах, проводах, трубах. Направление стрелки на корпусе датчика должно совпадать с направлением протекания тока «к земле» в контролируемом проводнике.

Датчик марки «RFCT-7» не требует проведения поверки и калибровки после изготовления. Калибровка должна производиться на объекте контроля после завершения монтажа датчика.

2.2.8. Датчик «SCM» для регистрации частичных разрядов в изоляции и емкостных токов в экранах кабельных линий.

Датчики марки «SCM» предназначены для регистрации частичных разрядов в изоляции высоковольтных кабельных линиях.



Рис. 2.2.8.1. Датчик частичных разрядов марки «SCM-1».

При помощи датчика «SCM» обычно контролируется состояние изоляции кабельной линии, соединительных муфт, а также всех высоковольтных устройств и аппаратов (высоковольтные выключатели, статоры электрических машин и т. д.), подключенных к данной кабельной линии. Максимальная длина контролируемой кабельной линии зависит от степени затухания частичных разрядов в силовом кабеле, но обычно не превышает 2000 м.

Фирмой «DIMRUS» выпускаются две модификации датчика данного типа – «SCM-1» и «SCM-3». По внешнему виду эти датчики не имеют

каких-либо отличий, кроме различной маркировки.

В датчике марки «SCM-1» располагается один высокочастотный трансформатор тока марки «RFCT», а в датчике марки «SCM-3» дополнительно смонтирован измерительный

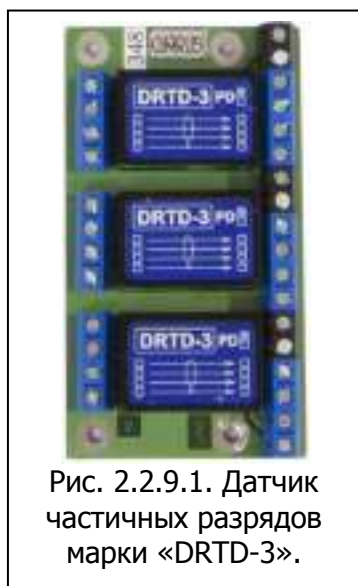


трансформатор тока с обычным стальным сердечником, предназначенный для регистрации токов промышленной частоты. Это дает возможность одновременно, при помощи одного датчика, контролировать частичные разряды и емкостные токи утечки изоляции кабельной линии.

Датчик импульсов частичных разрядов марки «SCM» конструктивно выполнен так, чтобы можно было легко осуществлять его монтаж в разрыв цепи заземления экрана

кабеля или соединительной муфты. В процессе монтажа датчика заземляющая жила (экран) кабельной линии отключается от «земли». На освободившееся место монтируется датчик, а заземляющая шина кабеля подключается ко второму «посадочному месту» датчика. Конструктивное исполнение датчика таково, что он имеет практически нулевое внутреннее сопротивление и может, без ухудшения своих параметров, пропускать большие токи, возникающие во время коммутационных и переходных процессов в заземляющих жилах кабельных линий.

2.2.9. Датчик частичных разрядов марки «DRTD-3» для измерений в статорах электрических машин.



Датчик «DRTD-3» предназначен для регистрации частичных разрядов в обмотках статоров крупных электрических машин, генераторов и высоковольтных электродвигателей.

При использовании для регистрации частичных разрядов в изоляции обмотки статора термометров сопротивления, встроенных в пазы статора между секциями обмотки и предназначенных для контроля температуры обмотки, необходимо использовать датчики марки «DRTD-3».

Датчик состоит из трех малогабаритных высокочастотных трансформаторов серии «RFCT-3», залитых компаундом в отдельные корпуса, и расположенных на одной плате с винтовыми клеммами. Каждый модуль датчика включается в разрыв проводов, идущих от одного термометра сопротивления внутри обмотки к измерительному прибору контроля температуры. Соединительных проводов от каждого датчика внутри обмотки статора может быть три или четыре, в зависимости от используемой схемы включения термометров

сопротивления.

Высокочастотные сигналы от частичных разрядов в изоляции обмотки статора наводятся в самом термометре сопротивления и в соединительных проводах, проложенных внутри паза статора между секциями обмотки. Благодаря наличию высокочастотного трансформатора тока измерительные цепи контроля частичных разрядов гальванически не связаны с измерителем температуры. Сигналы от частичных разрядов с выхода трансформатора тока по коаксиальному кабелю передаются в измерительный прибор для регистрации и анализа.

Монтировать датчик «DRTD-3» желательно максимально близко к месту выхода проводников от термометров сопротивления из корпуса статора электрической машины, чтобы максимально избежать затухания сигналов от частичных разрядов в соединительном кабеле. Плату датчика «DRTD-3» необходимо обязательно заземлять, используя для этого специальное крепежное отверстие.

Если термометр сопротивления подключен по трехпроводной схеме, то нужно не задействовать нижние клеммы. Необходимо помнить, что нельзя изменять последовательность жил кабеля на входе и выходе датчика, чтобы не нарушить работу прибора измерения температуры.

Для проведения калибровки датчиков типа «DRTD-3» необходимо использовать отключенный режим работы электрической машины, хотя само подключение датчика можно производить и в процессе работы оборудования.

2.3. Емкостные датчики для регистрации частичных разрядов.

Датчики частичных разрядов емкостного типа предназначены для проведения измерений в высоковольтном оборудовании, в котором трудно смонтировать измерительные конденсаторы связи «СС» или установить высокочастотные трансформаторы тока «RFCT». Обычно это закрытое высоковольтное оборудование, например, маслонаполненные баки высоковольтного оборудования, корпуса КРУЭ, шкафы КРУ различного типа, высоковольтные кабели, боковые щиты и корпуса высоковольтных генераторов и электродвигателей и т. д.

Эти датчики называются емкостными потому, что обычно представляют собой одну своеобразную обкладку измерительного конденсатора, второй обкладкой которого является металлический корпус контролируемого оборудования. Высокочастотные импульсы от частичных разрядов наводят в металлических конструкциях оборудования высокочастотные токи, которые протекают по конструкциям и замыкаются на «землю». При помощи емкостных датчиков контролируется величина этих токов.

Очевидным достоинством емкостных датчиков является возможность оперативной установки их на металлических открытых поверхностях высоковольтного оборудования. Если внутри датчиков имеется постоянный магнит, а корпус оборудования стальной, то это максимально упрощает процедуру монтажа датчиков. Поскольку используемые металлические конструкции оборудования должны быть обязательно заземленными (!), то процедуры монтажа датчиков и проведения измерений частичных разрядов являются безопасными для персонала.

Наиболее важный недостаток емкостных датчиков обусловлен тем, что по металлическим бакам, корпусам и панелям шкафов оборудования протекают токи не только от высокочастотных импульсов, возникших внутри оборудования, но и от всех внешних высокочастотных процессов. Поэтому импульсы частичных разрядов в выходном сигнале от емкостных датчиков почти всегда очень сильно «зашумлены» и с большим трудом поддаются анализу и эффективной экспертизе.

Второй недостаток емкостных датчиков обусловлен тем, что в большинстве типов оборудования, за исключением экранов высоковольтных кабелей, в разных точках баков и корпусов протекают высокочастотные токи различной величины. Это связано со сложной геометрией корпусов оборудования и также обусловлено влиянием места возникновения частичных разрядов в изоляции. В результате при простой перестановке датчика по поверхности оборудования можно получить результаты, отличающиеся друг от друга даже на порядок.

Реальная чувствительность всех емкостных датчиков нелинейно связана с частотой. Чем больше частота сигнала, тем выше чувствительность емкостного датчика. Поэтому применение емкостных датчиков эффективно для того оборудования, в котором частота импульсов частичных разрядов больше, чем 50 – 100 МГц.

2.3.1. Емкостные датчики марки «TSM» для регистрации высокочастотных токов растекания.

Основное назначение датчиков марки «TSM» – регистрация частичных разрядов на поверхности корпусов и баков высоковольтного оборудования. В литературе принцип действия таких датчиков обычно обозначается буквами «TEV» - (Transient Earth Voltage), что в свободном переводе соответствует термину «Переходные Напряжения в Заземленных элементах» высоковольтного оборудования.

Датчики типа «TSM» производятся в пластиковом (ABC) корпусе и монтируются (накладываются) непосредственно на заземленный металлический корпус контролируемого объекта. Фиксация датчика на оборудовании осуществляется при помощи постоянного магнита, расположенного внутри корпуса датчика. Подключение датчика марки «TSM» к измерительному прибору производится коаксиальным кабелем при помощи разъема типа BNC или TNC.

Датчики марки «TSM» выпускаются в трех модификациях:

- «TSM-1» - емкостный датчик, в котором кроме обкладки и постоянного магнита ничего нет. Поэтому внутри датчика отсутствует преобразование сигналов, и он имеет на своем выходе сигнал такой же частоты, что и на контролируемой поверхности оборудования, т. е. порядка десятков – сотни мегагерц. Датчик предназначен для преимущественного использования с теми измерительными приборами, которые предназначены для проведения регистрации сигналов частичных разрядов в высокочастотном диапазоне.

- «TSM-2» - емкостный датчик со встроенной электроникой, предназначенный для использования в системах стационарного мониторинга. Входной высокочастотный сигнал



Рис. 2.3.1.1. Емкостные датчики частичных разрядов типа «TSM».

внутри датчика интегрируется и преобразуется по частоте. В результате на выходе датчика сигналы имеют частоту в диапазоне 1 ÷ 20 МГц. Это позволяет использовать датчик «TSM-2» со всеми наиболее распространенными системами регистрации импульсов частичных разрядов, работающими в HF диапазоне частот. Напряжение питания для работы встроенной электроники и внутренних защит датчика «TSM-2» составляет 2,7 ÷ 6,0 В, ток потребления - до 8 мА. Питание для электроники подается в датчик по тому

же коаксиальному кабелю, по которому производится и регистрация импульсов частичных разрядов.

- «TSM-3» - емкостный датчик высокочастотных токов растекания от частичных разрядов со встроенной электроникой предназначен для преимущественного использования с различными переносными приборами и в системах периодического мониторинга частичных разрядов. По электрическим параметрам выходного сигнала и внешним габаритным размерам датчик «TSM-3» соответствует датчикам «TSM-1» и «TSM-2», но питание электроники датчика осуществляется от трех встроенных батареек типоразмером AAA при максимальном токе потребления в 17 мА.

Габаритные размеры всех трех датчиков типа «TSM» одинаковые и составляют 95 * 54 * 32 мм. Масса датчиков не более 0,3 кг, наиболее тяжелым является датчик «TSM-3» с батарейным питанием.

Датчики типа «TSM» могут быть использованы для регистрации частичных разрядов в различном оборудовании:

- в электрических генераторах, электродвигателях;
- в высоковольтных выключателях;
- в ячейках КРУ и КРУЭ;
- в шкафах КРУ;
- в баках маслонаполненного оборудования.

Во всех этих случаях датчик марки «TSM» устанавливается только на заземленных (!) поверхностях корпусов и баков высоковольтного оборудования. Место установки датчика выбирается максимально близко к тем зонам, где возможного возникновения частичных разрядов. Этим обеспечивается лучшая чувствительность при регистрации частичных разрядов.

2.3.2. Комплексный датчик марки «CDR-S» для кабелей и муфт.

Комплексный датчик марки «CDR-S» емкостного типа предназначен для регистрации импульсов от частичных разрядов, протекающих в защитных экранах высоковольтных кабельных линий. При помощи этого датчика обеспечивается регистрация частичных разрядов в UHF диапазоне частот: от 100 МГц до 1500 МГц.

При помощи комплексного датчика «CDR-S» можно дополнительно контролировать температуру поверхности кабельной линии.

Комплексные датчики марки «CDR-S» предназначены для монтажа на поверхности кабельной линии рядом с соединительными или концевыми муфтами. Датчик представляет собой гибкое кольцо шириной 200 мм, которым оборачивается внешняя поверхность кабеля



Рис. 2.3.2.1. Емкостный датчик частичных разрядов типа «CDR-S».

рядом с концевой или соединительной муфтой. В корпус датчика дополнительно может быть вмонтирован датчик температуры кабельной линии. Благодаря разъемной конструкции монтаж датчика не представляет большой сложности.

Для снижения уровня внешних помех корпус датчика марки «CDR-S» снабжается дополнительным внешним защитным экраном, который монтируется поверх датчика.

Наиболее эффективно применение датчика марки «CDR-S» для контроля частичных разрядов в концевых или соединительных муфтах, вблизи которых смонтирован датчик. Это обусловлено тем, что рядом с местом возникновения частичный разряд имеет высокую частоту и может быть зарегистрирован при помощи емкостного датчика.

По мере распространения импульса частичного разряда вдоль кабельной линии происходит его затухание, которое сопровождается уменьшением максимальной амплитуды импульса и снижением его собственной частоты, что проявляется в увеличении длительности переднего фронта импульса. Чувствительность датчика марки «CDR-S» к таким импульсам нелинейно уменьшается с уменьшением их частоты.

2.4. Электромагнитные антенны UHF диапазона частот для регистрации частичных разрядов.

Одним из перспективных направлений в создании систем периодического и стационарного контроля состояния изоляции высоковольтного оборудования является переход на проведение измерений частичных разрядов в UHF (СВЧ) диапазоне частот. Интенсивное развитие этого направления в последнее время обусловлено двумя основными причинами – высокой информативностью UHF диапазона и эффективным использованием достижений современной электроники для преодоления трудностей при создании необходимых технических средств регистрации и обработки сверхвысокочастотных импульсов частичных разрядов.

В качестве наиболее информативной части UHF диапазона частот для измерения высокочастотных импульсов частичных разрядов обычно рассматриваются частоты от 100 до 2000 МГц, хотя чаще всего такие измерения частичных разрядов производятся в диапазоне $500 \div 1000$ МГц.

Основой для выбора такого частотного диапазона являются следующие причины:

- Большинство типов дефектов в изоляции сопровождается частичными разрядами до 1000 pК, которые генерируют достаточно высокочастотные электромагнитные импульсы примерно такого частотного диапазона.

- Измерение частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования может производиться в этом диапазоне частот бесконтактно и «направленно» в зоне прямой «радио видимости».

- Необходимый для этого диапазона частот комплект измерительного оборудования, состоящий из антенны и регистрирующего прибора, имеет оптимальные габариты и приемлемую стоимость.

Недостатком при проведении измерений частичных разрядов в изоляции в сверхвысокочастотном диапазоне, как и для всего UHF диапазона, является наличие большого количества телевизионных, промышленных и даже военных передатчиков различной мощности и удаления, работающих на этих частотах. При проведении измерений частичных разрядов при помощи «открытых» антенн наличие этих, часто достаточно мощных, передатчиков приводят к резкому увеличению общего уровня шума и помех. При использовании «закрытых» (экранированных) антенн, расположенных внутри корпусов и баков оборудования, влияние общего уровня внешних электромагнитных помех на процесс измерения частичных разрядов снижается многократно.

Электромагнитное излучение в сложном баковом высоковольтном оборудовании распространяется по достаточно сложной траектории, сопровождается сложно анализируемым отражением, наложением, и затуханием. Поэтому к оценке достоверности результатов, определяющих локацию мест возникновения дефектов в изоляции, нужно подходить очень внимательно.

Из-за наличия большого конструктивного разнообразия высоковольтного оборудования, столь же велико количество конструкций электромагнитных антенн, используемых для регистрации в этом оборудовании частичных разрядов. Наибольшее количество датчиков-антенн создано, в том числе сотрудниками фирмы «DIMRUS», для элегазовых КРУЭ, выпускаемых различными производителями для различных напряжений. Ниже приведены описания только тех марок электромагнитных антенн, которые наиболее часто изготавливались фирмой для различных диагностических систем регистрации частичных разрядов в UHF диапазоне частот.

2.4.1. Датчик марки «AES» для регистрации частичных разрядов в КРУЭ.

Датчик марки «AES» представляет собой экранированную электромагнитную антенну и предназначен для проведения измерений частичных разрядов в элегазовых КРУЭ. Датчик



Рис. 2.4.1.1. Датчик марки «AES» для регистрации частичных разрядов в КРУЭ.

«AES» применяется для тех типов КРУЭ, у которых в зоне соединения двух камер имеется радиопрозрачная щель или окно, т. е. имеется неметаллическая прокладка. Обычно это бывает в таких конструкциях, в которых разделительный изолирующий диск, поддерживающий токоведущую шину, является одновременно и герметизирующей прокладкой между корпусами камер КРУЭ.

Иногда локальное радиопрозрачное окно специально выполняется производителем в составе металлической прокладки между отдельными корпусами КРУЭ для проведения измерений частичных разрядов. В этом случае обеспечивается минимальный уровень наведенных внешних помех.

Для монтажа датчиков частичных разрядов марки «AES» обычно используются металлические крепежные ленты, являющиеся одновременно и защитным экраном от внешних помех на остальной части радио прозрачного стыка корпусов. В ряде случаев, особенно при наличии в КРУЭ локальных радио прозрачных окон, применяются специальные хомуты, фиксирующие корпус датчика за болты, стягивающие корпуса камер при помощи внешних легкоъемных захватов.

Поскольку внешний диаметр стыков камер КРУЭ, на которых монтируются датчики, у оборудования различных производителей обычно различается, то практически для каждой



Рис. 2.4.1.2. Датчик марки «AES» смонтированный на стыке корпусов КРУЭ.

марки КРУЭ приходится изготавливать корпуса датчиков «AES» своей формы. Основное различие состоит в радиусе внутренней поверхности датчика, прилегающей к стыку корпусов КРУЭ. Это изменение делается для того, чтобы максимально снизить влияние внешних электромагнитных помех на регистрацию частичных разрядов, для чего немагнитный зазор между корпусом датчика и поверхностью стыка корпусов КРУЭ должен быть минимальным.

Датчик марки «AES» подключается при помощи специализированного разъема N-TYPE к измерительному прибору высокочастотным коаксиальным кабелем, что позволяет эффективно проводить регистрацию частичных разрядов в изоляции КРУЭ в диапазоне частот от 200 МГц до 1500 МГц.

Важным достоинством датчика марки «AES» является возможность его оперативной установки на работающем оборудовании без необходимости выведения его из эксплуатации. Это объясняется тем,

что датчик монтируется на заземленных поверхностях корпусов КРУЭ без какого-либо вмешательства в целостность их конструкции.



Рис. 2.4.2.1. Датчик марки «AES/W», измерительная часть.

2.4.2. Датчик марки «AES/W» для регистрации частичных разрядов в КРУЭ.

Датчик марки «AES/W» также является электромагнитной антенной, предназначенной для регистрации частичных разрядов в КРУЭ. Датчик этой марки отличается от датчика марки «AES» тем, что он специально разработан для установки на смотровых окнах КРУЭ, через которые обычно осуществляется визуальное наблюдение за срабатыванием встроенных разъединителей и заземлителей. Это не самое лучшее место для установки датчиков частичных разрядов, но иногда оно является единственно доступным.

Поскольку разновидностей конструкций смотровых окон в КРУЭ достаточно много, они во многом уникальны у каждого производителя, и различаются даже для оборудования разных уровней рабочего напряжения, то датчик марки «AES/W» является разборным и состоит из трех основных элементов:

- Самого датчика в нержавеющей корпусе с элементами крепления дисковой антенны и подключения коаксиального сигнального кабеля.

- Дисковой круглой электромагнитной антенны, смонтированной на корпусе датчика. Диаметр антенны зависит от диаметра смотрового окна в корпусе КРУЭ, и подбирается индивидуально.

- Элементов крепления корпуса датчика на смотровом окне, размеры которых полностью зависят от конструктивного исполнения окна. Крепление датчика выполнено таким способом, чтобы обеспечить



Рис. 2.4.2.2. Датчик «AES/W» на смотровом окне.

его быстрый демонтаж при необходимости проведения через окно визуального контроля текущего состояния коммутационного элемента внутри КРУЭ. Элементы крепления датчика являются одновременно и металлическим экраном, защищающим антенну от внешних наведенных помех.

Датчик марки «AES/W» обеспечивает регистрацию частичных разрядов внутри КРУЭ в диапазоне частот от 200 МГц до 1500 МГц. Точное значение диапазона регистрируемых высокочастотных импульсов, а также итоговая чувствительность датчика зависят от двух параметров: диаметра дисковой антенны датчика и ее реального удаления от токоведущих частей внутри корпуса КРУЭ.

Элементы крепления датчика «AES/W» могут быть оперативно смонтированы на смотровых окнах КРУЭ без вывода оборудования из эксплуатации. При необходимости сам датчик может быть снят с окна для визуального контроля положения заземлителей (или разъединителей) без использования инструмента и так же легко установлен на оборудовании повторно.

2.4.3. Датчик марки «ACS» для регистрации частичных разрядов в КРУЭ.

Датчик марки «ACS», также являющийся электромагнитной антенной, разработан для установки внутри корпусов КРУЭ на заводе–изготовителе в специальных нишах, закрытых монтажными лючками.



Рис. 2.4.3.1. Встраиваемый датчик частичных разрядов марки «ACS».

Установка датчиков этой марки в составе систем мониторинга на уже смонтированном и работающем оборудовании невозможна по двум причинам:

- Датчики должны монтироваться внутри объема КРУЭ, для чего там должны быть предусмотрены специальные посадочные места.

- Для установки датчиков необходимо вскрывать корпус КРУЭ, собрав соответствующим образом весь элегаз. Это очень трудоемкая процедура, на которую персонал всегда идет неохотно.

По этим причинам датчики частичных разрядов марки «ACS», хотя они и обладают высокой чувствительностью и очень высокой помехозащищенностью, при оснащении системами мониторинга уже работающего элегазового оборудования практически никогда не используются.

2.4.4. Датчик «ВА-1» для измерения ЧР в статорах электрических машин.

Это стационарный вариант широкополосной электромагнитной антенны, предназначенный для регистрации высокочастотных импульсов частичных разрядов в диапазоне частот 200 ÷ 900 МГц.



Рис. 2.4.4.1. Антенна «ВА-1» для измерения частичных разрядов в статоре электрических машин.

Антенна марки «ВА-1» предназначена для установки внутри корпуса статора генератора или высоковольтного электродвигателя. Назначение этой широкополосной антенны – регистрация импульсов частичных разрядов, возникающих в обмотке статора электрической машины.

В системе мониторинга и диагностики состояния изоляции оптимально использование трех антенн этой марки: по одной на каждой из двух сторон обмотки в зоне лобовых частей обмотки (для больших машин по две и более) и одна антенна в зоне подключения соединительного высоковольтного кабеля. Такая конфигурация

датчиков дает возможность эффективно отстроиться от внешних высокочастотных помех, поступающих по высоковольтному кабелю, и даже провести начальную локацию места возникновения дефекта в изоляции обмотки.

Поскольку антенны марки «ВА-1» устанавливаются внутри металлического корпуса статора электрической машины, то они достаточно хорошо защищены от воздействия внешних высокочастотных помех, наводимых из рядом расположенного высоковольтного оборудования.

Антенны марки «ВА-1» являются эффективным и сравнительно дешевым типом датчика для регистрации частичных разрядов в изоляции обмоток статоров крупных высоковольтных электрических машин, по сравнению с используемыми конденсаторами связи и датчиками частичных разрядов (тоже антеннами), устанавливаемыми в пазах статоров между секциями обмотки. Поскольку эти электромагнитные антенны, установленные на «заземленном» корпусе статора, гальванически никак не связаны с высоковольтными цепями обмотки статора электрической машины и даже не касаются секций обмотки статора снаружи, то они не оказывают отрицательного влияния на надежность работы контролируемого генератора или электродвигателя.

2.4.5. Направленная логопериодическая антенна марки «LPA-1».



Рис. 2.4.5.1. Направленная логопериодическая антенна «LPA-1».

Это переносной вариант широкополосной направленной электромагнитной антенны, предназначенный для оперативной дистанционной регистрации высокочастотных импульсов частичных разрядов от дефектов в изоляции в диапазоне частот от 400 до 900 МГц.

Универсальная электромагнитная антенна марки «LPA-1» предназначена для решения двух важных практических задач:

Во-первых, это дистанционная бесконтактная регистрация импульсов частичных разрядов в UHF диапазоне частот, проводимая с целью выявления дефектов в изоляции высоковольтного оборудования.

Во-вторых, «LPA-1» позволяет быстро и оперативно определять направление на источник высокочастотного импульсного излучения с целью локализации места возникновения дефекта в изоляции

контролируемого оборудования.



Рис. 2.4.5.2. Диаграмма направленности антенны марки «LPA-1».

Широкополосная антенна марки «LPA-1» обычно используется совместно с различными переносными измерительными и диагностическими приборами, предназначенными для регистрации импульсов частичных разрядов в UHF диапазоне частот, чаще всего при проведении оперативной диагностики.

Поскольку результаты измерений частичных разрядов в высоковольтной изоляции при помощи переносной антенны «LPA-1» очень трудно поддаются градуировке (впрочем, как и все другие дистанционные измерения частичных разрядов), при такой диагностике очень важным параметром является удаление от места возникновения дефектов, которое может быть различным даже от измерения к измерению. Поэтому итоговая оценка состояния

изоляции контролируемого оборудования в таких случаях обычно производится с использованием относительных параметров и сравнительных соотношений. Это могут быть

соотношения типа «есть разряды – нет разрядов» или «выше интенсивность разрядов – ниже интенсивность», и т. д.

Такая оперативная оценка состояния изоляции производится на основе сравнения результатов измерений частичных разрядов, проводимых при изменении местоположения антенны и ее направления на различные элементы контролируемого оборудования.

2.5. Акустические датчики для регистрации импульсов частичных разрядов.

Акустические датчики предназначены для контактной и бесконтактной регистрации импульсов частичных разрядов в высоковольтном оборудовании. Датчики хотя и называются акустическими, но основной частотный диапазон для них существенно выше порога слышимости человеческого уха – это ультразвуковые колебания от 30 кГц и выше, у некоторых датчиков даже до 300 кГц.

При контактном измерении частичных разрядов акустическими датчиками регистрируются колебания конструкций высоковольтного оборудования, обычно поверхностей баков и корпусов. Наилучшие результаты при контактном измерении частичных разрядов получаются в том случае, когда баки оборудования заполнены жидкой средой, обычно изолирующим и охлаждающим маслом, которое является идеальной средой для распространения акустических импульсов. При бесконтактном измерении частичных разрядов акустическим датчиком регистрируются колебания, передающиеся непосредственно по воздуху. Поскольку воздух менее плотен, чем жидкости, то реальная чувствительность акустических измерений в этом случае оказывается существенно более низкой, чем при контактном измерении.

По принципу своей работы акустические датчики для измерения частичных разрядов бывают двух типов – зарезонансные и резонансные. Разница между этими датчиками однозначно определена в их названии:

- Зарезонансные акустические датчики позволяют регистрировать сигналы на частотах, превышающих частоту собственного (механического) резонанса пьезокристалла, являющегося частью общей конструкции датчика. (Для справки: датчики регистрации вибрационных процессов в механических конструкциях работают на частотах, которые ниже частоты собственного резонанса пьезокристалла вибродатчиков)

Для надежной регистрации импульсов частичных разрядов частота собственного резонанса датчика должна быть не больше 15 – 20 кГц, тогда при помощи этого датчика можно регистрировать импульсы с частотой от 30 кГц и выше. Чтобы полностью исключить влияние резонансных колебаний пьезокристалла на выходе датчика, внутрь его обязательно встраивается электронный фильтр, подавляющий колебания на резонансной частоте, и все более низкие частоты. Выходной сигнал зарезонансного датчика обычно имеет ту же частоту, что и регистрируемые колебания конструкции оборудования.

- Резонансные акустические датчики для регистрации импульсов частичных разрядов работают на частоте собственного установочного резонанса пьезокристалла, оптимальное значение которого для таких датчиков обычно составляет 40 кГц. Вне зависимости от частоты регистрируемого акустического сигнала выходной сигнал резонансного датчика всегда имеет эту частоту 40 кГц, то есть пьезокристалл импульсно возбуждается от внешнего акустического воздействия и «звенит» на собственной частоте.

Длительность затухания резонансных колебаний на выходе датчика почти полностью зависит от механической добротности конструкции датчика и очень мало связана с параметрами акустического импульса. Резонансный принцип работы пьезокристалла обеспечивает высокую чувствительность такого датчика при сравнительно невысокой цене. Однако при использовании резонансных датчиков происходит потеря части первичной информации о контролируемом импульсе – отсутствует возможность анализировать его частоту и некоторые другие параметры.

Основным достоинством применения всех акустических датчиков является то, что их выходная информация наиболее просто поддается расшифровке и анализу, она доступна и понятна персоналу для проведения различных типов диагностики и локализации на интуитивном уровне.

Вторым важным достоинством акустических датчиков является сравнительная простота и оперативность монтажа на заземленных поверхностях высоковольтного оборудования, особенно если в их конструкции уже заложено использование магнитного крепления. Поскольку акустические датчики обычно используются или для проведения контактных измерений на заземленных элементах оборудования, или же для дистанционного контроля частичных разрядов, то работа с ними обычно не представляет опасностей для персонала.

Самым большим недостатком применения различных акустических датчиков для регистрации частичных разрядов является наличие в их выходном сигнале большого уровня паразитного шума, наведенного на датчик извне от которого обычно бывает очень трудно избавиться. Второй недостаток заключается в том, что при проведении диагностики оборудования больших габаритов, например, мощных силовых трансформаторов, приходится многократно перемещать датчик по поверхности бака, так как реальная зона распространения акустических импульсов в таких сложных объектах бывает очень ограниченной из-за сильного внутреннего затухания.

2.5.1. Акустический датчик частичных разрядов марки «AC-Sensor».

Акустический датчик марки «AC-Sensor» предназначен для проведения контактной регистрации импульсов частичных разрядов на поверхности баков и конструкций различного



Рис. 2.5.1.1. Акустический датчик частичных разрядов марки «AC-Sensor» с магнитным креплением.

высоковольтного оборудования. Он может быть применен для контроля состояния изоляции силовых и измерительных трансформаторов, выключателей, КРУ и КРУЭ, высоковольтных кабельных муфт и т. д.

По принципу своего действия «AC-Sensor» является акустическим датчиком частичных разрядов классического зарезонансного типа, в котором частота установочного механического резонанса пьезокристалла находится ниже минимальной границы частотного диапазона регистрируемых импульсов частичных разрядов. Большое количество подобных датчиков применяется в системах акустико-эмиссионного контроля состояния сложных и ответственных механических объектов и сооружений, где они регистрируют акустические импульсные сигналы от

механических дефектов внутри конструкций.

Акустический датчик марки «AC-Sensor» может поставляться в стальном или алюминиевом корпусе, в зависимости от среды и условий, в которых ему предстоит работать. В состав поставки датчика для переносных приборов может входить интегрированное в конструкцию корпуса магнитное крепление.



Рис. 2.5.1.2. Акустический датчик частичных разрядов марки «AC-Sensor» в монтажном корпусе.

Датчик марки «AC-Sensor» может поставляться в едином модуле с датчиками других типов, что упрощает монтаж сложных систем мониторинга. В состав поставки могут входить различные монтажные и установочные корпуса, уникальная оснастка для надежного крепления, которая разрабатывается в зависимости от предполагаемого места установки датчика.

Присоединение датчика к измерительному прибору производится при помощи обычного коаксиального разъема. При использовании в составе стационарных систем мониторинга датчик может быть поставлен с неразъемно встроенным коаксиальным кабелем необходимой длины.

Внешнее напряжение питания 12В, требуемое для встроенной электроники и фильтров датчика, подается в датчик по тому же коаксиальному кабелю, по которому происходит передача выходного сигнала в измерительный прибор.

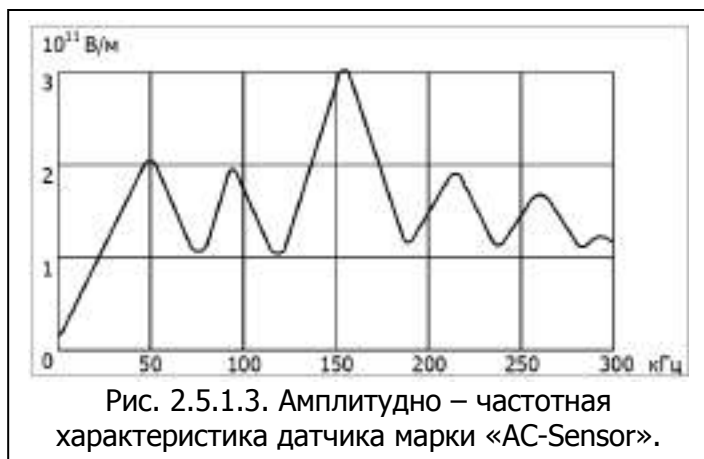


Рис. 2.5.1.3. Амплитудно – частотная характеристика датчика марки «AC-Sensor».

Амплитудно-частотная характеристика датчика марки «AC-Sensor» приведена на рисунке 2.5.2.3. Эта зависимость получена при жестком болтовом креплении датчика на поверхности контролируемого оборудования. Если же для монтажа датчика используется быстрозъемное магнитное крепление, то в этом случае необходимо обязательно применять дополнительные меры по повышению акустической проницаемости переходного зазора «датчик – корпус оборудования». Если этого не делать,

то на переходном зазоре будет происходить сильное затухание сигнала. Наибольшая опасность будет в том, что затухание для разных частот будет разным, что впоследствии сильно затруднит проведение анализа и диагностику дефектов в изоляции контролируемого оборудования.

2.5.2. Резонансный акустический датчик частичных разрядов марки «AR-Sensor».



Рис. 2.5.2.1. Резонансный акустический датчик «AR-Sensor» для переносных приборов и систем мониторинга.

Акустический датчик частичных разрядов марки «AR-Sensor» предназначен для проведения оперативных измерений, используется с переносными приборами для поиска дефектов в изоляции. Датчик «AR-Sensor» может применяться в стационарных системах мониторинга и диагностики для проведения дистанционного контроля наличия частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования.

Акустический датчик частичных разрядов марки «AR-Sensor» работает в резонансном режиме на частоте установочного резонанса пьезокристалла, равной 40 кГц. Датчик регистрирует акустические импульсы, передаваемые от места возникновения дефекта в изоляции по воздуху в зоне прямой видимости. Вне зависимости от частоты регистрируемых акустических колебаний в выходном сигнале датчика «AR-Sensor» преобладающими являются импульсные затухающие колебания на частоте собственного резонанса пьезокристалла.

Датчик «AR-Sensor» состоит из собственно пьезокристалла и дополнительной электронной платы, предназначенной для повышения чувствительности датчика. Питание для электронной платы датчика подается по тому же экранированному кабелю, по которому производится регистрация выходного сигнала датчика.

По схеме своего подключения к измерительному прибору акустические датчики «AC-Sensor» и «AR-Sensor» взаимозаменяемы.



Рис. 2.5.2.2. Диаграмма направленности акустического резонансного датчика марки «AR-Sensor».

Оба датчика могут быть подключены к одинаковым входным каналам измерительных приборов, которые производятся фирмой «DIMRUS».

Благодаря хорошей диаграмме направленности и высокой чувствительности датчик марки «AR-Sensor» позволяет достаточно эффективно отстраиваться от внешних акустических импульсных помех. Это дает возможность использовать его не только с переносными приборами, но и в составе различных систем стационарного мониторинга частичных разрядов. Для этого датчик «AR-Sensor» стационарно монтируется рядом с контролируемым высоковольтным оборудованием и направляется на наиболее критические и ответственные зоны изоляции высоковольтного оборудования.

3. Дополнительные датчики для использования в системах мониторинга высоковольтного оборудования.

Для нормальной работы систем мониторинга, проведения диагностики и оценки технического состояния высоковольтного оборудования, использование датчиков для измерения частичных разрядов и токов проводимости изоляции является необходимым, но чаще всего не достаточным условием. Для проведения корректной и эффективной диагностики оборудования необходимо знание ряда других параметров, в том числе технологических, при помощи которых уточняются полученные диагностические заключения о техническом состоянии оборудования. Кроме того, при помощи этих дополнительных параметров чаще всего удается «с другой стороны» взглянуть на оценку текущего технического состояния контролируемого объекта, оценив другие аспекты нормального и дефектного состояния.

Наиболее важными и информативными дополнительными параметрами состояния высоковольтного оборудования, используемыми в системах мониторинга, являются:

- Напряжение, ток и мощность, потребляемую из сети. Они обычно определяют степень технологической загрузки контролируемого оборудования.
- Температурные параметры оборудования в различных режимах работы, параметры окружающей среды.
- Дополнительные информативные параметры состояния оборудования, например, вибрация корпусов и конструкций оборудования.
- Датчики для синхронизации процессов измерений частичных разрядов с фазой высоковольтного напряжения.
- Специализированные интеллектуальные датчики для контроля интегральных параметров высоковольтного оборудования.

В данном разделе описываются уникальные датчики двух последних групп, применяемые в системах мониторинга, и предназначенные для регистрации дополнительных параметров, производимые фирмой «DIMRUS». Стандартные датчики электрических и вибрационных параметров нашей фирмы, как и датчики, производимые другими фирмами, здесь не описываются. По этой причине здесь отсутствуют описания датчиков растворенных газов в масле, информация от которых очень важна для оценки состояния маслонаполненного оборудования.

3.1. Датчики опорных сигналов для синхронизации измерения ЧР с фазой приложенного напряжения.

Если регистрируемые импульсы частичных разрядов предполагается использовать для дальнейшей интеллектуальной обработки, то время регистрации каждого импульса однозначно должно быть связано с фазой приложенного напряжения. Наличие такой информации позволяет существенно повысить точность и достоверность диагностических заключений, так как дает возможность более качественно устранить внешние высокочастотные помехи, и, что является особенно важным, определить тип дефекта, возникшего в изоляции контролируемого оборудования.

Если в качестве первичных датчиков для регистрации частичных разрядов используются конденсаторы связи, то проблем с синхронизацией процесса регистрации с приложенным напряжением нет, в этом случае все решается просто. Все становится более сложным при использовании датчиков типа «RFCT», электромагнитных антенн и акустических датчиков, так как в их выходном сигнале отсутствует наведенный ток промышленной частоты, и синхронизация невозможна.

Если регистрация частичных разрядов производится при помощи стационарного прибора, имеющего сетевое питание, то процесс измерения можно синхронизировать с фазой первичного напряжения, приложенного к сетевому источнику питания. Наиболее сложным вопрос синхронизации является для переносных приборов регистрации частичных

разрядов, имеющих аккумуляторное питание, так как у них полностью отсутствует связь с переменным напряжением промышленной частоты.

Специализированные датчики опорного сигнала подключаются к переменному напряжению и формируют на своем выходе информацию о текущей мгновенной фазе напряжения. Эта информация используется в измерительном приборе для синхронизации процесса регистрации частичных разрядов с фазой переменного напряжения.

Для передачи информации о фазе напряжения используется или соединительный коаксиальный кабель необходимой длины, или же специализированный радиоканал, в котором датчик опорного сигнала является передатчиком информации о фазе напряжения, а измерительный прибор регистрации частичных разрядов является приемником. Каждый из этих способов передачи информации имеет свои достоинства и недостатки.

3.1.1. Датчик опорного сигнала марки «AR-1».



Рис. 3.1.1.1. Датчик опорного сигнала марки «AR-1».

Для синхронизации процесса регистрации частичных разрядов с фазой питающего напряжения может быть использован датчик марки «AR-1».

Из входного напряжения, подаваемого на датчик, внутренней схемой формируется синхронизирующий сигнал, который используется измерительным прибором.

Диапазон входных напряжений датчика – от 5 до 300 вольт. Для удобства пользования датчик имеет встроенное аккумуляторное питание и гальваническую развязку входных и выходных цепей.

3.1.2. Датчик опорного сигнала марки «PFR-1», передача по радиоканалу.



Рис. 3.1.2.1. Датчик опорного сигнала марки «PFR-1».

В тех случаях, когда возможность подключения к опорному напряжению физически отсутствует, что чаще всего бывает при использовании переносных приборов для измерения частичных разрядов, применяется процесс синхронизации измерений с фазой питающего напряжения при помощи «PFR-1».

Этот прибор подключается к опорному напряжению и посылает синхронизирующие метки по радиоканалу. Дальность посылки синхронизирующего импульса – до 100 метров.

В качестве опорного напряжения «PFR-1» может использовать:

- Напряжение от измерительного трансформатора напряжения, равное 100 вольт AC.
- Любое напряжение переменного тока в диапазоне от 10 до 300 вольт.
- Напряжение питающей сети 220 вольт, в которое включается «PFR-1».

Датчик опорного сигнала марки «» имеет универсальное питание, от розетки 220 вольт, и от встроенных внутрь аккумуляторов или батарей размером «AA».

4. Градуировочное и тестовое оборудование, имитаторы сигналов.

Проведение измерений частичных разрядов требует наличия у пользователя, кроме необходимого комплекса измерительных приборов и датчиков, дополнительного специализированного оборудования, необходимого для испытательного тестирования измерительного оборудования. Кроме того, для проведения измерений частичных разрядов обязательно наличие калибровочного оборудования, позволяющего проводить градуировку измерительных цепей перед проведением измерений.

Необходимое количество и состав тестового и градуировочного оборудования, которое должен иметь каждый пользователь, полностью определяется теми целями и задачами, которые приходится решать каждому подготовленному специалисту, занимающемуся контролем технического состояния высоковольтной изоляции по уровню и распределению частичных разрядов.

В данном разделе описывается тестовое и градуировочное оборудование, которое производится фирмой «DIMRUS».

4.1. Градуировочное оборудование для схем измерения частичных разрядов.

Все измерительное оборудование, включающее в себя первичные датчики и измерительные приборы, предназначенное для регистрации частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования, переносное или стационарное, в самом общем случае не может быть метрологически поверено. Сделать это невозможно в связи с техническими особенностями проведения измерений частичных разрядов.

Основополагающими причинами этого являются две:

- Частичные разряды от дефектов разного вида возникают в высоковольтной изоляции и характеризуются различными диагностическими признаками. При помощи датчиков частичных разрядов, в зависимости от их типа, регистрируются или электромагнитное излучение от разряда, или акустическое давление, или даже высокочастотный импульс тока в высоковольтной цепи, компенсирующий нарушение распределения электромагнитного поля внутри изоляции, возникшее после частичного разряда. Соотношение интенсивностей параметров импульсов у разных типов дефектов в изоляции, измеренных в разных диапазонах частот, может различаться, причем иногда многократно. Поэтому исходный частичный разряд одной величины, и от одного типа дефекта, в случае измерения его параметров при помощи датчиков разного типа и в различных диапазонах частот, может характеризоваться различающимися значениями своих основных параметров – зарядом, амплитудой, и т. д.

- Между местом возникновения дефекта в изоляции и местом установки датчика частичных разрядов всегда имеется расстояние, иногда очень значительное. На этом пространственном интервале, обычно имеющем сложную форму, обладающем определенными электромагнитными свойствами, всегда будет происходить затухание возникшего импульса по амплитуде и частоте. Чем больше датчик будет удален от места возникновения дефекта, тем сильнее затухнет исходный сигнал. Степень затухания сигнала является величиной непредсказуемой, и практически не поддающейся точному учету. В результате обычно очень сложно связать амплитуду сигнала на выходе измерительного датчика с амплитудой частичного разряда на месте возникновения. Возникают некорректные ситуации, когда, например, сигнал от двух разных дефектов на выходе датчика будет иметь одинаковую амплитуду. Первый дефект возник рядом с датчиком, имеет небольшое развитие, и пока не опасен для оборудования. Второй дефект возник на большом удалении от датчика, но на месте возникновения имеет большую амплитуду и критически опасен для дальнейшей эксплуатации изоляции оборудования. При проведении измерений мы не сможем определить истинную опасность этих дефектов, ведь сигнал от них на выходе измерительного датчика одинаков.

Единственный способ повысить точность процедуры измерения частичных разрядов, позволяющий более корректно учесть реальное затухание высокочастотных импульсов в контролируемом оборудовании, и даже в измерительной цепи, заключается в проведении процедуры определения параметров затухания с использованием тестовых генераторов, инжектирующих в оборудование высокочастотные импульсы, по параметрам близкие к параметрам ожидаемых частичных разрядов.

Процедура учета влияния электромагнитных параметров контролируемого оборудования, измерительного датчика, соединительного кабеля и самого измерительного прибора на величину затухания сигналов частичных разрядов называется градуировкой измерительной цепи, а используемые для этого генераторы тестовых сигналов называются градуировочными калибраторами.

4.1.1. Градуировочный калибратор марки «GKI-1».

Калибратор марки «GKI-1» является наиболее простым и компактным устройством, предназначенным для оперативной проверки и градуировки измерительных датчиков и цепей измерения частичных разрядов, применительно к различному высоковольтному оборудованию и для измерительных приборов разных марок.



Рис. 4.1.1.1. Градуировочный калибратор марки «GKI-1».

Переносной градуировочный калибратор марки «GKI-1» непрерывно генерирует импульсы величиной 25 нКл, при частоте следования 2,4 кГц. Длительность самого импульса не превышает 200 нС при длительности переднего фронта импульса не более 50 нС. Амплитуда выходного импульса калибратора на стандартной нагрузке 50 Ом должна составлять от 12 до 14 В.

Благодаря прочному алюминиевому герметичному корпусу, независимому батарейному питанию, и простоте управления калибратор «GKI-1» может применяться непосредственно на объектах контроля персоналом, имеющим начальную диагностическую подготовку.

Калибратор марки «GKI-1» может эксплуатироваться при температуре окружающего воздуха от минус 20 до плюс 50 °С, и при относительной влажности воздуха до 98 % без конденсации влаги.

Габаритные размеры калибратора «GKI-1» составляют всего 100 * 85 * 35 мм, масса калибратора с двумя встроенными в корпус элементами питания размером АА не превышает 0,3 кг.

4.1.2. Градуировочный калибратор марки «GKI-2».

Калибратор этой марки является более сложным градуировочным устройством, предназначенным для калибровки цепей измерения частичных разрядов (датчиков, соединительных сигнальных кабелей и входных цепей приборов) в различном высоковольтном оборудовании.



Рис. 4.1.2.1. Градуировочный калибратор марки «GKI-2».

В зависимости от типа контролируемого оборудования калибратор марки «GKI-2» позволяет генерировать высокочастотные импульсы, отличающиеся не только своей амплитудой, но и длительностью, т. е. имеющих различную частоту. Это очень важно для повышения точности проводимых измерений, так как в электротехническом оборудовании разного типа частичные разряды имеют различный частотный диапазон.

Основные технические параметры калибратора марки «GKI-2»:

Параметры генерируемых импульсов	
Инжектируемый заряд:	4 нКл - 800 нКл
Ширина импульса:	50 нс - 5 мкс
Пауза между импульсами:	256 нс - 32,7 мкс
Фронт импульса, не более:	10 нс
Дисплей:	ЖКИ, 122×32 точки
Элементы питания:	Аккумуляторы тип АА
Потребление прибора, не более	30 мА
Габаритные размеры, мм, не более	140×65×25
Масса прибора, кг, не более	0,3

При использовании калибратора марки «GKI-2» пользователь должен хорошо представлять, какие параметры калибровочных импульсов необходимо применять при калибровке измерительных цепей в каждом конкретном случае.

4.1.3. Градуировочный калибратор марки «GKI-3».

Градуировочный калибратор импульсный марки «GKI-3» является универсальным устройством и предназначен для решения двух важных практических задач:



Рис. 4.1.3.1. Градуировочный калибратор марки «GKI-3».

- Диагностики деформаций формы обмоток трансформаторов по методу прямоугольных импульсов. При помощи «GKI-3» в данном методе генерируются высокочастотные импульсы необходимой частоты и амплитуды. Регистрация отклика обмоток трансформатора на эти импульсы регистрируется осциллографом, или другим, специально предназначенным для этих целей прибором.

- Калибровки измерительных цепей измерения частичных разрядов, особенно в объектах с большим затуханием высокочастотных импульсов.

Основные технические данные и характеристики калибратора «GKI-3»:

Длительность положительного импульса, мкс ¹	100±0,3; 30±0,3
Амплитуда импульсов, В	100±5; 200±10; 400±20
Скважность импульсов	2; 10
Длительность фронтов импульсов, нс	20
Мощность, отдаваемая в нагрузку	не менее 2 ВА
Частота следования импульсов	2,4 кГц
Инжектируемый заряд ³	10/20/40 нКл*
Нарастающий фронт импульса	≤ 4/7/15 нс
Длительность импульса	≤ 16/20/30 нс
Автономное питание	Аккумулятор
Время непрерывной работы	около 4 часов*
Питание от сети	100..240 В, 40..440 Гц
Время полной зарядки аккумуляторов	около 12 часов
Габаритные размеры, мм, не более	148 x 108 x 75 *
Масса прибора	не более 1,5 кг

Калибратор марки «GKI-3» предназначен для использования подготовленным диагностическим персоналом.



Рис. 4.1.4.1.
Градуировочный
калибратор «GKI-4».

4.1.4. Градуировочный калибратор марки «GKI-4».

Градуировочный калибратор импульсный «GKI-4» предназначен для градуировки датчиков и цепей регистрации частичных разрядов при работе с различными переносными и стационарными измерительными приборами. По своим функциональным возможностям он занимает промежуточное положение между простейшим калибратором марки «GKI-1» и достаточно сложным «GKI-2».

Управление калибратором осуществляется при помощи двух кнопок путем последовательного перебора параметров генерируемых импульсов. Выбранный режим генерации отображается при помощи светодиодов.

Наиболее эффективно применение калибратора марки «GKI-4» с приборами диагностики состояния изоляции высоковольтных кабельных линий, в зависимости от длины которых определяются параметры тестового импульса – его амплитуда и длительность.

Калибратор марки «GKI-4» может эксплуатироваться в сложных погодных условиях при температуре окружающего воздуха от минус 20 до плюс 50 °С и относительной влажности воздуха до 98 % без конденсации влаги.

Параметры «GKI-4»	
Частота следования импульсов:	2.4 кГц
Инжектируемый заряд:	10/20/50 нКл
Передний фронт импульса	50 нс *
Длительность импульса	200 нс *
Элементы питания	тип АА
Потребляемый ток	220 мА
Габаритные размеры, мм, не более	150×65×38
Масса прибора, кг, не более	0,3

4.1.5. Градуировочный калибратор марки «GTI-5/UHF».

При градуировке систем измерения частичных разрядов в UHF (СВЧ) диапазоне частот необходимо использовать тестовые генераторы, работающие в этом диапазоне.



Рис. 4.1.5.1. Градуировочный
калибратор марки «GTI-5/UHF».

Градуировочный калибратор марки «GTI-5/UHF» является универсальным прибором, работающим в двух диапазонах частот: HF и UHF (ВЧ и СВЧ).

Он предназначен для тестирования датчиков, соединительных кабелей и входных цепей регистрации частичных разрядов в диапазоне HF/UHF при работе с приборами серии «TDM», «GIS-DM», «CDR», а также датчиками типа «AES», «CDR-S» и другими.

Прибор может эксплуатироваться при температуре окружающего воздуха от минус 40 до плюс 50 °С и относительной влажности воздуха до 98 % без конденсации влаги.

Внутренний генератор прибора «GTI-5/UHF» задает порядок следования тестовых импульсов, которые воздействуют на два выходных каскада, каждый из которых работает в своем диапазоне частот. Выбрав соответствующий выходной разъем прибора можно получить тестовые импульсы с необходимыми амплитудными и частотными параметрами.

Основные технические данные и характеристики «GTU-5/UHF» соответствуют данным, приведенным в таблице.

Импульсы в диапазоне HF	
Частота следования импульсов	300 Гц
Длительность импульса	100 нс
Амплитуда (отр./положит)	1 В*
Нарастающий фронт импульса	10 нс
Импульсы в диапазоне UHF	
Частота следования импульсов:	300 Гц
Длительность импульса	100 нс
Мощность импульса	-40 дБм*
Частота заполнения импульса, МГц	650(F1)/433(F2)
Импульсов в диапазоне UHF антенный выход	
Частота следования импульсов	300 Гц
Длительность импульса	100 нс
Мощность импульса	10 дБм*
Частота заполнения импульса, МГц	650(F1)/433(F2)
Элементы:	Аккумуляторы
Время зарядки:	Около 12 часов
Потребляемый ток	200 мА
Габаритные размеры, мм, не более	130×120×38
Масса прибора, кг, не более	0,45

4.2. Имитаторы тестовых сигналов и испытательные комплексы.

Имитаторы тестовых сигналов предназначены для проведения проверки общей работоспособности и специальных функциональных возможностей измерительного и диагностического оборудования в лабораторных условиях, а также для тестирования оборудования в условиях эксплуатации. Выходная информация имитаторов – функциональный набор электрических сигналов, получаемый на реальном объекте от первичных датчиков, установленных на контролируемом оборудовании, и соответствующий различным состояниям и дефектам оборудования.

Имитатор может формировать полный набор сигналов для системы мониторинга, моделирующий весь реальный объект, или же только те сигналы, которые нужны для моделирования отдельной функции, проверки функциональных возможностей отдельной диагностической подсистемы или прибора.

Испытательные комплексы предназначены для проведения автоматизированного тестирования диагностических систем и приборов в условиях производства и сервисных лабораторий. Испытательный комплекс обычно состоит из двух элементов – имитатора сигналов и управляющего компьютера, в котором находится программа испытаний. Компьютер, в зависимости от того, какая функция и какого прибора тестируется, соответствующим образом конфигурирует имитатор. Сформированные сигналы с имитатора поступают в измерительный прибор, который их регистрирует. Соответствующая диагностическая подпрограмма прибора анализирует полученную информацию, и, по запросу, передает в компьютер. Программа компьютера сравнивает результат, полученный в приборе, со значением, которое должно получиться. Если все совпадает, программа приступает к тестированию следующей функции прибора.

Достоинством применения имитаторов и испытательных комплексов заключается в том, что они позволяют, на уровне сигналов с первичных датчиков, моделировать различные состояния контролируемого оборудования, как нормального, так и дефектного, причем возможна имитация дефектов различного типа, простых и сложных, различающихся степенью своего развития. Проведение таких испытаний на реальном оборудовании обычно не представляется возможным.

4.2.1. Имитатор тестовых сигналов марки «ИТТ-1».

Имитатор тестовых сигналов марки «ИТТ-1» является универсальным устройством, предназначенным для тестирования диагностического оборудования мониторинга токов проводимости высоковольтных вводов, и регистрации частичных разрядов. Отличительными особенностями имитатора «ИТТ-1» от всех других подобных устройств является его компактность, прочность металлического корпуса, и использование автономного питания, что дает возможность проводить настройку и тестирование сложного диагностического оборудования непосредственно на месте установки.



Рис. 4.2.1.1. Имитатор тестовых сигналов марки «ИТТ-1».

Основной проблемой, возникающей при проведении проверки систем контроля и мониторинга трансформаторных вводов «на месте», является отсутствие трехфазных сигналов токов (напряжений), необходимых для тестирования оборудования. Даже в том случае, когда пользователю доступны напряжения трех фаз, их все равно нельзя использовать для проверки систем контроля вводов. Для тестирования

такого оборудования нужны очень стабильные вектора трехфазных напряжений, так как точность систем измерения параметров высоковольтных вводов очень высока, а малейшие изменения фазной нагрузки в сетях 0,4 кВ (что происходит очень часто) приводит к колебаниям векторов фазных напряжений относительно друг друга.

Второй сложностью тестирования диагностического оборудования на месте эксплуатации является то, что вектора трехфазных напряжений должны быть не только стабильными, но и иметь возможность изменяться на определенную величину. Пользователь должен самостоятельно управлять векторами, осуществляя имитацию дефектов в одном из контролируемых вводов, которая приводит к заданному взаимному перекосу векторов фазных токов и напряжений.

Решением всех этих проблем является использование переносного имитатора марки «ИТТ-1». С его помощью с высокой точностью генерируются три вектора фазных токов, сдвинутых относительно друг друга на 120 градусов. Амплитуда генерируемых токов имеет два значения: 5 и 20 мА, и выбирается пользователем при помощи переключателя. При необходимости пользователь может ввести изменение в один из трехфазных токов, что автоматически должно создать небаланс фазных токов на заданную величину. Это позволит проверить работу достаточно сложных диагностических и сигнальных функций тестируемой системы мониторинга трансформаторных вводов.

Дополнительной возможностью имитатора марки «ИТТ-1» является добавление в имитируемые трехфазные токи проводимости вводов промышленной частоты высокочастотных сигналов частичных разрядов, синхронизированных с фазой генерируемых токов. Это позволяет пользователю имитировать дефекты не только на уровне изменения амплитуд и взаимных фаз токов, но и дополнительно сопровождать «появление» комплексных дефектов возникновением частичных разрядов определенного вида. Это необходимо делать для более продвинутых систем мониторинга трансформаторного оборудования.

Важным для эксплуатационного персонала является то, что все эти уникальные имитационные возможности реализованы в одном компактном переносном приборе. Практическое использование имитатора «ИТТ-1» повышает эффективность проведение наладочных и тестовых испытаний систем мониторинга трансформаторного оборудования, одновременно со значительным сокращением временных затрат.

4.2.2. Имитатор тестовых сигналов марки «ИТТ-2».

Имитатор тестовых сигналов марки «ИТТ-2» обладает, по сравнению с «ИТТ-1», расширенным набором выходных сигналов, что позволяет использовать его для комплексного тестирования систем мониторинга и диагностики трансформаторного оборудования.



Рис. 4.2.2.1. Имитатор тестовых сигналов марки «ИТТ-2».

Как и имитатор «ИТТ-1» имитатор марки «ИТТ-2» выполнен в переносном варианте, в защитном транспортном кейсе. Это позволяет использовать его для тестирования и наладки систем мониторинга на месте установки. Отличие состоит в том, что имитатор этой марки требует наличия сетевого питания, его работа от внутреннего аккумулятора не предусмотрена.

При помощи имитатора марки «ИТТ-2» генерируются выходные сигналы следующих типов:

- 6 сигналов, пропорциональных токам проводимости изоляции вводов промышленной частоты. Эти токи соответствуют двум группам вводов трансформатора (ВН и СН или ВН и НН).

В каждом наборе токи изоляции вводов фаз сдвинуты на 120 градусов относительно друг друга, и оба набора могут иметь взаимный сдвиг относительно друг друга.

- 6 сигналов частичных разрядов. Сигналы ЧР «подмешаны» к сигналам токов проводимости и полностью имитируют сигналы дефектных вводов трансформатора.

- 3 сигнала промышленной частоты, связанные с токами проводимости изоляции вводов, пропорциональные токам нагрузки трансформатора на трех разных фазах.

- 3 сигнала с датчиков температуры, имитирующие работу датчиков типа RTD, или платина 100.

- 1 сигнал с датчика влажности окружающего воздуха.

Все имитируемые сигналы могут быть изменены при помощи встроенного микропроцессора, управляемого при помощи пленочной клавиатуры и графического экрана, или при помощи специальных переключателей. Это значительно расширяет возможности практического применения имитатора марки «ИТТ-2». При помощи такого набора сигналов можно тестировать системы мониторинга силовых трансформаторов минимального и среднего уровней.

4.2.3. Имитатор тестовых сигналов марки «ИТТ-3».

Имитатор тестовых сигналов марки «ИТТ-3» предназначен для работы в составе автоматизированных комплексов для тестирования и проверки функций систем мониторинга и диагностики трансформаторного оборудования.



Рис. 4.2.3.1. Имитатор тестовых сигналов марки «ИТТ-3».

Основная область применения «ИТТ-3» - проведение поверочных, настроечных и регулировочных работ, осуществляемых в процессе производства и наладки различного диагностического оборудования на производстве и в специализированных лабораториях.

В «ИТТ-3» предусмотрено местное управление выходными сигналами, и программное управление по заранее заданной программе испытаний, работающей на внешнем управляющем компьютере, т. е.

работа в составе автоматизированного диагностического комплекса.

При работе имитатора в составе автоматизированного комплекса параметры выходных сигналов задаются управляющим компьютером. После того как имитатор по этим командам сформирует необходимый набор выходных сигналов компьютер переключает тестируемый прибор или систему в режим регистрации. Зарегистрированная информация о тестовых сигналах передается из прибора в компьютер, где сравнивается с исходной, заданной в имитатор. При совпадении с исходной информацией тестируемая функция прибора считается проверенной. Начинается тестирование следующей функции системы мониторинга, по командам управляющего компьютера. После завершения полного цикла испытаний прибора или системы автоматически формируется и печатается итоговый протокол проведения испытаний.

Выходные сигналы, формируемые имитатором «ИТТ-3»:

- 9 сигналов токов, соответствующие трем наборам токов проводимости изоляции вводов трансформатора (ВН, СН и НН). В каждом наборе токи фаз токов сдвинуты на 120 градусов относительно друг друга. При необходимости фазные углы в наборе можно менять, так же как и взаимный сдвиг между наборами токов проводимости сторон ВН, СН, или НН трансформатора.

- 9 сигналов частичных разрядов, наложенных на 9 сигналов токов проводимости изоляции вводов, и 6 независимых сигналов.

- 3 сигнала токов промышленной частоты, пропорциональных трем токам нагрузки трансформатора по фазам.

- 4 сигнала имитации датчиков температуры (RTD Платина 100),

- 1 сигнал имитации датчика относительной влажности воздуха.

Задание значений всех имитируемых параметров осуществляется при помощи кнопочной клавиатуры на передней панели имитатора или с персонального компьютера по интерфейсу USB (RS232) при помощи управляющей программы, поставляемой в комплекте с имитатором.

Питание имитатора производится от сети с номинальным действующим значением напряжения 220В и номинальной частотой 50 Гц.

4.3. Симуляторы сигналов частичных разрядов.

Тестовое оборудование этой группы предназначено для организации испытаний диагностических приборов и систем регистрации и анализа частичных разрядов в условиях производства и испытательных лабораторий.

Симуляторы этой группы тестового оборудования бывают трех типов:

- Физические симуляторы дефектов в изоляции («PD Simulator»). В этих симуляторах используются различные ячейки моделирования дефектов, при подаче напряжения на которые генерируются импульсы от частичных разрядов.

- Программные симуляторы сигналов дефектов в изоляции («IDS»). Такие устройства представляют собой интеллектуальные градуировочные калибраторы, на выходе которых формируется изменяемый во времени и по фазе набор импульсов, который характерен для различных дефектов в изоляции.

- Специализированные комплексные симуляторы, в которых симуляторы частичных разрядов первого или второго типа объединяются с физической моделью высоковольтного оборудования, например, симулятор марки «SCL». Такой подход менее универсален, но позволяет более точно отрабатывать диагностические алгоритмы, для данного класса высоковольтного оборудования.

Симуляторы частичных разрядов необходимы для тестирования функций диагностического оборудования, отработки специальных алгоритмов, и для проведения обучения диагностического персонала.

4.3.1. Симулятор дефектов в изоляции марки «PD Simulator».

Симулятор марки «PD Simulator» предназначен для симулирования дефектов в высоковольтной изоляции на физическом уровне. Внутри симуляторы подобраны структуры с таким сочетанием изоляционных и проводящих слоев, внутри которых при определенном напряжении промышленной частоты возникают импульсы частичных разрядов. Эти разряды

можно зарегистрировать и проанализировать, подключив измерительный прибор к соответствующим разъемам симулятора.

Симулятор марки «PD Simulator» состоит из шести ячеек, симулирующих дефекты, и встроенного регулируемого высоковольтного источника. Лицевая панель симулятора прозрачная, поэтому конструкция ячеек с дефектами изоляции хорошо вида.



Рис. 4.3.1.1. Симулятор дефектов в изоляции марки «PD Simulator».

Каждая ячейка с дефектом подключается к источнику высокого напряжения при помощи своего поворотного переключателя. Это дает возможность одновременно генерировать или один, или несколько дефектов в изоляции. Чем больше ячеек с дефектами будет включено одновременно, тем более сложный вид будет иметь зарегистрированное PRPD распределение импульсов частичных разрядов.

На лицевой панели симулятора предусмотрен дополнительный разъем, предназначенный для подключения датчика синхронизации с фазой приложенного напряжения в процессе регистрации частичных

разрядов. Это необходимо для того, чтобы зарегистрированные импульсы могли быть использованы для определения типа дефекта в изоляции.

При помощи симулятора марки «PD Simulator» симулируются шесть различных дефектов, возникающих в высоковольтной изоляции. Это:

- Частичный разряд между двумя слоями высоковольтной изоляции, внутренний разряд в изоляции.
- Частичный разряд, возникающий между изолированным проводящим элементом, и высоким напряжением, или землей. Такой дефект обычно называется «плавающим потенциалом».
- Поверхностный разряд с земляного электрода.
- Поверхностный разряд с высоковольтного электрода.
- Корона с высоковольтного электрода.
- Корона с земляного электрода.

При помощи симулятора «PD Simulator» удобно проводить испытание различного диагностического оборудования. Симулятор может также оказать неоценимую пользу при проведении обучения персонала методам оперативной диагностики дефектов в высоковольтной изоляции.

4.3.2. Симулятор сигналов от дефектов марки «IDS».

Переносный прибор марки «IDS» (Insulation Defect Simulator – симулятор сигналов от дефектов в изоляции) предназначен для проверки систем диагностики дефектов в электротехническом оборудовании по частичным разрядам. В отличие от прибора «PD Simulator» прибор марки «IDS» симулирует дефекты не на физическом уровне, а на уровне электрических импульсных сигналов, которые получаются с условного датчика частичных разрядов.

На физическом уровне симулятор «IDS» представляет собой условный трехфазный датчик частичных разрядов, установленный на контролируемом высоковольтном оборудовании. Для большей универсальности на разных выходах симулятора присутствуют импульсы от частичных разрядов в ВЧ, или СВЧ диапазонах частот, т. е. прибор симулирует сигналы с датчиков частичных разрядов типа «RFCT», или от СВЧ электромагнитных антенн.

Прибор «IDS» одновременно симулирует наборы импульсов частичных разрядов для трех фаз, причем по каждой фазе импульсы могут генерироваться отдельно и независимо, что определяется заданной пользователем программой. Это позволяет проверять в диагностических приборах работу алгоритмов, разделяющих дефекты по разным фазам, и взаимное влияние процессов в одной фазе на другую.



Рис. 4.3.2.1. Симулятор сигналов от дефектов марки «IDS».

Достоинством симулятора марки «IDS» является то, что генерируемые им наборы высокочастотных импульсов представляются на стандартном PRPD распределении в виде образов определенных дефектов. При этом пользователь может использовать как стандартные образы дефектов, уже имеющиеся в базе прибора, так и создавать свои PRPD распределения генерируемых импульсов, симулирующие другие дефекты. Это позволяет дополнительно тестировать экспертные диагностические системы, например, систему «PD-Expert».

В память прибора «IDS» можно также записать образы дефектов, зарегистрированные

пользователем на реальном оборудовании. Для этого существует специальная подпрограмма, при помощи которой можно перегружать такие замеры из общей базы данных «iNVA», с которой работают все приборы фирмы «DIMRUS».

С прибором поставляется программа, имеющая марку «Конфигуратор IDS», устанавливаемую на компьютере. Эта программа служит базой данных образов дефектов, и позволяет проводить настройку «IDS». Пользователь может изменять:

- Количество импульсов в каждом из трех выходных каналов прибора.
- Амплитуду генерируемых импульсов, которая будет иметь случайные отклонения в заданных размерах.
- Фазу выходных импульсов относительно синусоиды промышленной сети. Для фазы могут задаваться случайные отклонения от заданного значения, в пределах определенного диапазона углов.
- Задавать определенную нестабильность в повторении выходных высокочастотных импульсов в каждом периоде питающего напряжения.
- Накладывать на генерируемые прибором импульсы помехи различного вида, как распределенные по фазе, так и сосредоточенные.

В результате получаемые наборы импульсов в режиме реального времени с высокой точностью симулируют дефекты в изоляции высоковольтного оборудования. Это могут быть: корона, плавающий потенциал, внутренний разряд, поверхностный разряд и другие. В одном сигнале могут быть симулированы несколько дефектов разного вида и интенсивности, что необходимо для углубленной проверки систем диагностики.

Прибор изготовлен в прочном металлическом корпусе, удобном для практического использования, как в лаборатории, так и при «полевых» испытаниях. Он не имеет встроенной батареи и питается от сети переменного тока 220В. Это сделано также и для того, чтобы в приборе была надежная «привязка» генерируемых импульсов к фазе питающего напряжения.

Для связи с программой «Конфигуратор IDS», при загрузке образов новых, и корректировки старых дефектов, используется стандартный USB кабель тип В.

4.3.3. Симулятор кабельной линии марки «SCL-500».

Симулятор кабельной линии марки «SCL-500» (Simulator Cable Line) предназначен для проверки диагностического оборудования, предназначенного для мониторинга и диагностики состояния длинных высоковольтных кабельных линий, включающих в себя несколько соединительных муфт.

Симулятор «SCL-500» включает в себя несколько отрезков коаксиальных кабелей, которые можно включать последовательно при помощи коротких внешних перемычек, представляющих собой электромагнитные аналоги соединительных муфт. Таким образом удастся симулировать длинную кабельную линию, состоящую из нескольких отдельных кабелей, соединенных соединительными муфтами.

На полученном физическом макете длинной кабельной линии, максимальная длина которой может достигать 500 метров, можно производить проверку различных технических

средств и методов рефлектографирования. Можно проконтролировать затухание, отражение



Рис. 4.3.3.1. Симулятор длинной кабельной линии марки «SCL-500» с соединительными муфтами.

и взаимное наложение тестовых сигналов в соединительных муфтах вдоль всей кабельной линии при различных типах дефектов – обрывах и замыканиях.

В состав поставки симулятора «SCL-500» входит модернизированный симулятор импульсов частичных разрядов марки «IDS», непосредственно встроенный в конструкцию. Благодаря наличию программного симулятора высокочастотных импульсов можно, используя «Т» коннекторы, в любую муфту (соединительную перемычку) инжектировать импульсы частичных разрядов, соответствующие определенному дефекту в изоляции. Это дает возможность комплексно проверить работу диагностического оборудования, оценить возможности и точность локализации места возникновения дефекта в изоляции работающей кабельной линии по особенностям распространения в ней электромагнитных импульсов от частичных разрядов.

Краткая информация о фирме:

ООО «Димрус»
Россия, 614000, г. Пермь,
улица Пермская, 70, офис 403
Факс: +7(342)212-84-74
Тел.: +7(342)212-23-18
+7(342)212-88-05
<http://dimrus.ru>
E-mail: dimrus@dimrus.ru