



ООО ДИМРУС

Каталог датчиков

для контроля состояния высоковольтного электротехнического
оборудования

Часть 1: Устройства присоединения для контроля технического состояния
высоковольтных вводов силовых трансформаторов

Часть 2: Первичные датчики для измерения частичных разрядов в изоляции
высоковольтного оборудования

Часть 3: Интеллектуальные датчики для контроля и анализа частичных разрядов в
высоковольтном оборудовании

Часть 4: Градуировочные генераторы для калибровки входных цепей при измерении
частичных разрядов

Часть 5: Испытательные стенды и имитаторы дефектов в изоляции высоковольтного
оборудования

Часть 6: Датчики для контроля технологических параметров оборудования

Пермь

Оглавление

1. Устройства присоединения и датчики для контроля технического состояния высоковольтных вводов	4
1.1. Стационарные устройства присоединения марки DB-2.	4
1.1.1. Особенности конструкции устройств присоединения DB-2.	4
1.1.2. Выбор устройства присоединения для использования с системами мониторинга.	6
1.2. Интеллектуальные беспроводные датчики марки DB-2S.	9
1.3. Мобильное устройство присоединения DB-M для периодического измерения параметров высоковольтных вводов переносными приборами.	10
2. Первичные датчики для регистрации импульсов частичных разрядов в высоковольтном оборудовании	12
2.1. Высоковольтные конденсаторы связи марки CC	12
2.1.1. Конденсаторы связи марки CC-XX/M	13
2.1.2. Конденсаторы связи марки CC-XX/H повышенной емкости	14
2.2. Датчики частичных разрядов трансформаторного типа марки RFCT.	15
2.2.1. Датчик частичных разрядов марки RFCT-1	16
2.2.2. Датчик частичных разрядов марки RFCT-2	17
2.2.3. Датчик частичных разрядов марки RFCT-3	18
2.2.4. Датчик частичных разрядов марки RFCT-4	19
2.2.5. Датчик частичных разрядов марки RFCT-5	20
2.2.6. Датчик частичных разрядов марки RFCT-6	21
2.2.7. Датчик частичных разрядов марки RFCT-7	22
2.2.8. Датчик марки DRTD-3 для измерений частичных разрядов в обмотке статора электрических машин.	23
2.3. Трансформаторные датчики RFCT специального исполнения.	23
2.3.1. Датчик частичных разрядов марки RFCT-4.2.	24
2.3.2. Датчик частичных разрядов марки RFCT-4.4.	25
2.3.3. Датчик частичных разрядов марки RFCT-4.6.	26
2.3.4. Датчик частичных разрядов марки RFCT-4.7.	27
2.4. Электромагнитные антенны для измерения частичных разрядов на основе контроля высокочастотных поверхностных токов.	28
2.4.1. Электромагнитные антенны TSM регистрации высокочастотных токов растекания.	28
2.4.2. Комплексный датчик марки PD-Line для регистрации частичных разрядов в кабельных линиях	29
2.5. Электромагнитные антенны для регистрации частичных разрядов	30
2.5.1. Датчик марки AES для регистрации частичных разрядов в КРУЭ	31
2.5.2. Датчик марки AES-T для регистрации частичных разрядов в баках силовых трансформаторов.	32
2.5.3. Датчик марки AES/W для регистрации частичных разрядов в КРУЭ	32
2.5.4. Датчик марки ACS для регистрации частичных разрядов в КРУЭ	33
2.5.5. Датчик BA-1 для измерения ЧР в статорах электрических машин	34
2.5.6. Направленная логопериодическая антенна марки LPA-1	34
2.6. Акустические датчики для регистрации импульсов частичных разрядов	35
2.6.1. Акустический датчик частичных разрядов марки AC-Sensor	36
2.6.2. Резонансный акустический датчик частичных разрядов AR-Sensor	37
3. Интеллектуальные датчики для контроля и анализа частичных разрядов в высоковольтном оборудовании	39

3.1. Интеллектуальный датчик Smart/PD-2 для измерения и анализа частичных разрядов в баках силовых трансформаторов.....	39
4. Оборудование для калибровки измерительных цепей	41
4.1. Градуировка схем измерения частичных разрядов	41
4.1.1. Градуировочный калибратор (генератор) марки GKI-1.....	42
4.1.2. Градуировочный калибратор марки GKI-2.....	42
4.1.3. Градуировочный калибратор марки GKI-3.....	43
4.1.4. Градуировочный калибратор марки GKI-4.....	44
4.1.5. Серия градуировочных калибраторов марки GKI.....	44
4.1.6. Градуировочный калибратор марки GTI-5/UHF.....	45
4.1.7. Градуировочный калибратор марки GTI-R.....	46
5. Имитаторы тестовых сигналов и симуляторы дефектов в изоляции высоковольтного оборудования	47
5.1. Имитаторы тестовых сигналов частичных разрядов	47
5.1.1. Имитатор тестовых сигналов марки ИТТ-1	47
5.1.2. Имитатор тестовых сигналов марки ИТТ-2	48
5.1.3. Имитатор тестовых сигналов марки ИТТ-3	49
5.2. Симуляторы сигналов частичных разрядов.....	49
5.2.1. Симулятор дефектов в изоляции марки PD Simulator.....	50
5.2.2. Симулятор сигналов от дефектов марки IDS	50
5.2.3. Симулятор кабельной линии марки SCL-500.....	52
6. Дополнительные датчики для синхронизации измерений ЧР и контроля технологических параметров	53
6.1. Датчики опорных сигналов для синхронизации измерения частичных разрядов с фазой приложенного напряжения.....	53
6.1.1. Датчик опорного сигнала марки AR-1	54
6.1.2. Датчик опорного сигнала марки PFR-2 с передачей импульсов синхронизации по радиоканалу	54
6.2. Датчики контроля технологических параметров оборудования.....	54
6.2.1. Датчик IFCT-5 для контроля токов нагрузки оборудования	55
6.2.2. Датчик марки SHm-1 для контроля влажности окружающей среды.....	55
6.2.3. Датчик марки THM-1 для контроля влагосодержания в масле бака трансформатора ...	56
6.2.4. Датчик марки THM-2 для контроля влагосодержания в масле бака и в твердой изоляции обмоток трансформатора.....	57
6.3. Беспроводные датчики контроля технологических параметров.....	58
6.3.1. Беспроводной датчик марки BDM-T для контроля температуры токоведущих частей, шин, проводов ЛЭП.....	58
6.3.2. Датчики марки BDM/TV для контроля температуры и вибрации обмоток высоковольтного оборудования	59
6.3.3. BDM-Tester - стенд проверки и настройки беспроводных датчиков температуры.....	59

1. Устройства присоединения и датчики для контроля технического состояния высоковольтных вводов

Универсальные устройства присоединения (УП) марки DB-2 предназначены для регистрации токов проводимости высоковольтных трансформаторных вводов с твердой RIP изоляцией и изоляцией «бумага – масло» при помощи стационарных систем и переносных приборов. Устройства присоединения этой марки широко используются в системах диагностического мониторинга трансформаторного оборудования.

Особенностью конструкции УП марки DB-2 является то, что они позволяют, наряду с регистрацией токов проводимости изоляции вводов, производить регистрацию импульсов частичных разрядов, возникших в изоляции вводов и внутри бака трансформатора.

Устройства присоединения марки DB-2 нельзя называть датчиками, так как в них не происходит каких-либо преобразований контролируемых параметров контролируемых вводов, они только предназначены для безопасного подключения внешних измерительных приборов. Поскольку при установке устройств присоединения DB-2 происходит отключение измерительного вывода (ПИН) ввода от земли, в УП установлены дополнительные элементы защиты при воздействии на ввод внешних импульсных перенапряжений и от перенапряжений, которые могут возникнуть при обрыве измерительного кабеля от УП до системы мониторинга.

При использовании устройства присоединения марки DB-2 и для регистрации частичных разрядов в контролируемом силовом трансформаторе внутри него устанавливается дополнительный высокочастотный трансформатор тока.

Установка комплексных стационарных устройств присоединения марки DB-2 позволяет наиболее просто и эффективно решать в системах мониторинга вопросы контроля состояния изоляции вводов и внутренней изоляции силовых трансформаторов.

1.1. Стационарные устройства присоединения марки DB-2.

1.1.1. Особенности конструкции устройств присоединения DB-2.

Устройство присоединения марки DB-2 предназначено для одновременного измерения токов проводимости и импульсов частичных разрядов, возникающих в высоковольтных вводах силовых трансформаторов. Для этого оно монтируется непосредственно на измерительном выводе высоковольтного ввода конденсаторного типа и подключается к последней обкладке. Выходной сигнал такого УП 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 устройств присоединения марки DB-2 в системах стационарного 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 относительно приложенного напряжения.
- Основную емкость высоковольтных вводов, обозначаемую на схемах замещения как параметр C_1 , рассчитывая ее значение 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 устройство присоединения марки DB-2 должно обеспечивать защиту ввода при возникновении любых аномальных режимов работы силового и измерительного оборудования.

Для этого устройство присоединения марки DB-2 должно:

- 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 устройства присоединения 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 обрыве сигнального кабеля, так как сам ввод, являющийся классическим источником тока по отношению к внешней нагрузке измерительной цепи, может при разрыве цепи 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) вводов. Если УП марки DB-2 предназначено для использования с широко распространенными в России релейными системами контроля изоляции вводов марки КИВ-500, то максимальное напряжение на измерительном выводе контролируемого ввода должно ограничиваться встроенной защитой и не превышать 500В. Это максимальное напряжение обусловлено особенностями работы 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 должно ограничиваться защитой на существенно меньшем уровне, обычно не более 160 В.

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

Уже при разработке устройство присоединения DB-2 предполагалось выпускать 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



Рис. 1.1.1. Модификации устройства присоединения DB-2, выпускаемые фирмой DIMRUS на первых этапах производства.

мест, на которые должно устанавливаться устройство присоединения DB-2. Некоторые модификации УП, производимых фирмой DIMRUS до 2010 года, показаны на рисунке 1.1.1.

Далее была проведена работа по усовершенствованию конструкции и унификации типоразмеров устройства присоединения. Благодаря этому выпускаемые в настоящее время фирмой УП марки DB-2 теперь имеют корпус единого внешнего размера, в котором устанавливаются все необходимые электрические и электронные компоненты защиты. Для монтажа УП на высоковольтных вводах различных производителей используется набор переходных элементов - втулок для установки универсального корпуса. Корпуса устройства присоединения и переходной втулки соединяются заземляющим проводником для уменьшения



Рис. 1.1.2. Стандартные модификации универсального устройства присоединения марки DB-2.

влияния переходных соединений в резьбовых и винтовых соединениях, влияющих на точность проведения измерений параметров вводов.

Внутри корпуса УП марки 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 устройства присоединения, предназначенные для использования срелевой системой защиты вводов марки КИБ-500, которая предъявляет особые требования к ограничению напряжений на измерительном выводе ввода.



Рис. 1.1.3. Устройство присоединения марки DB-2 для использования в тропических зонах.

Поскольку эта система дополнительно обрабатывает неполно фазные режимы работы контролируемого трансформаторного оборудования, величина максимального напряжения на измерительном выводе ограничена до 500В. При ограничении этого напряжения на меньшем уровне возможна некорректная работа защитного реле марки КИБ-500.

Единственной модификацией универсального корпуса УП для вводов разных производителей является использование пружинного контакта различной конструкции и размеров. Конструкция переходных втулок и соединительного контакта для каждого типа вводов является уникальной. Для большинства типов измерительных выводов используется разъем типа «мульти контакт», изготовленный из пружинистой бронзы. Конструкция этого контакта хорошо видна на рисунке 1.1.2. на переднем плане.

Для особых режимов работы высоковольтного оборудования, например, для тропических зон с повышенными температурой и влажностью, корпуса УП могут быть изготовлены из нержавеющей стали. Пример такого УП приведен на рисунке 1.1.3.

1.1.2. Выбор устройства присоединения для использования с системами мониторинга.

Для использования в составе систем стационарного мониторинга или защиты для каждого конкретного типа высоковольтного трансформаторного ввода выбирается уникальная конструкция устройства присоединения марки DB-2:

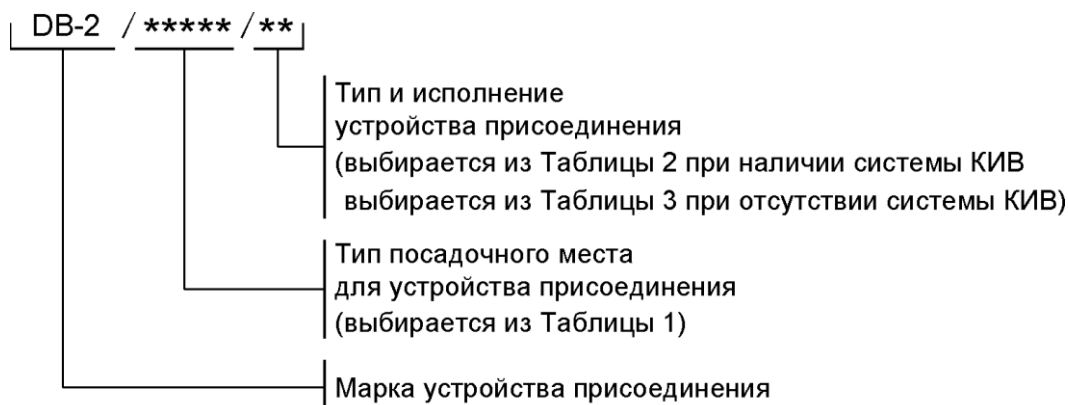
- из 11 вариантов стандартного корпуса устройства присоединения, различающихся параметрами элементов встроенной защиты;
- из 10 вариантов серийно выпускаемых переходных корпусов, предназначенных для вводов различных марок.

В перечень стандартно выпускаемых переходных корпусов не включены еще не менее чем 10 дополнительных модификаций, которые используются очень редко, но при необходимости

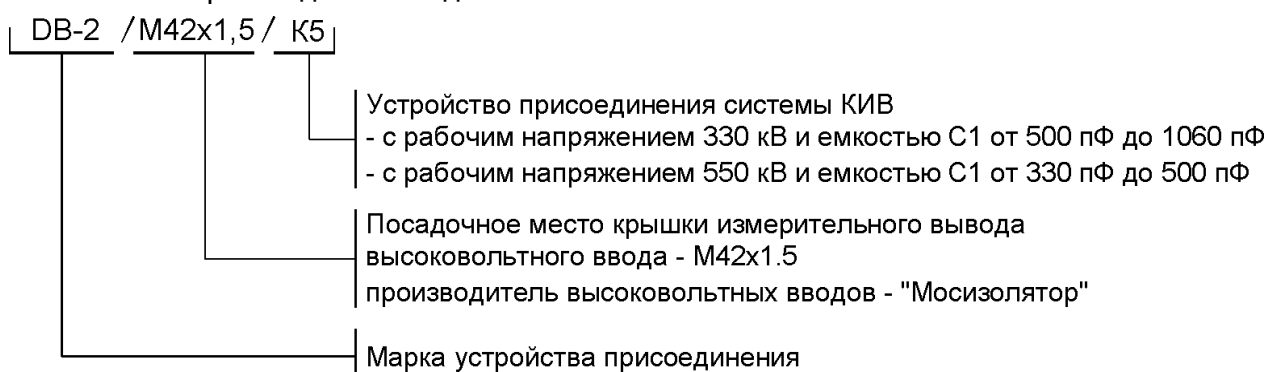
могут быть поставлены. Кроме того, количество серийных модификаций вводов с различными посадочными местами постоянно увеличивается, в результате чего номенклатура производимых переходных корпусов для датчиков (УП) марки DB-2 расширяется и в настоящее время превышает 250 модификаций.

Маркировка устройства присоединения 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 МАССА:



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

	Размер посадочного места	Производитель вводов	Марки вводов
1	UNF 2,25" 12/inc	ABB, TRENCH	ОТА, СОТ, ЕТА, ГОЕ, ГСВ
2	M16x1,5	ABB, TRENCH	ОТА, СОТ, ЕТА, ЕТГ
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	MACCA	ГКТ, КТкб
8	M39x2	MACCA	
9	Δ56	MACCA	ГБМТ, ГМТ, ГТТ, ГМР
10	box	ABB	

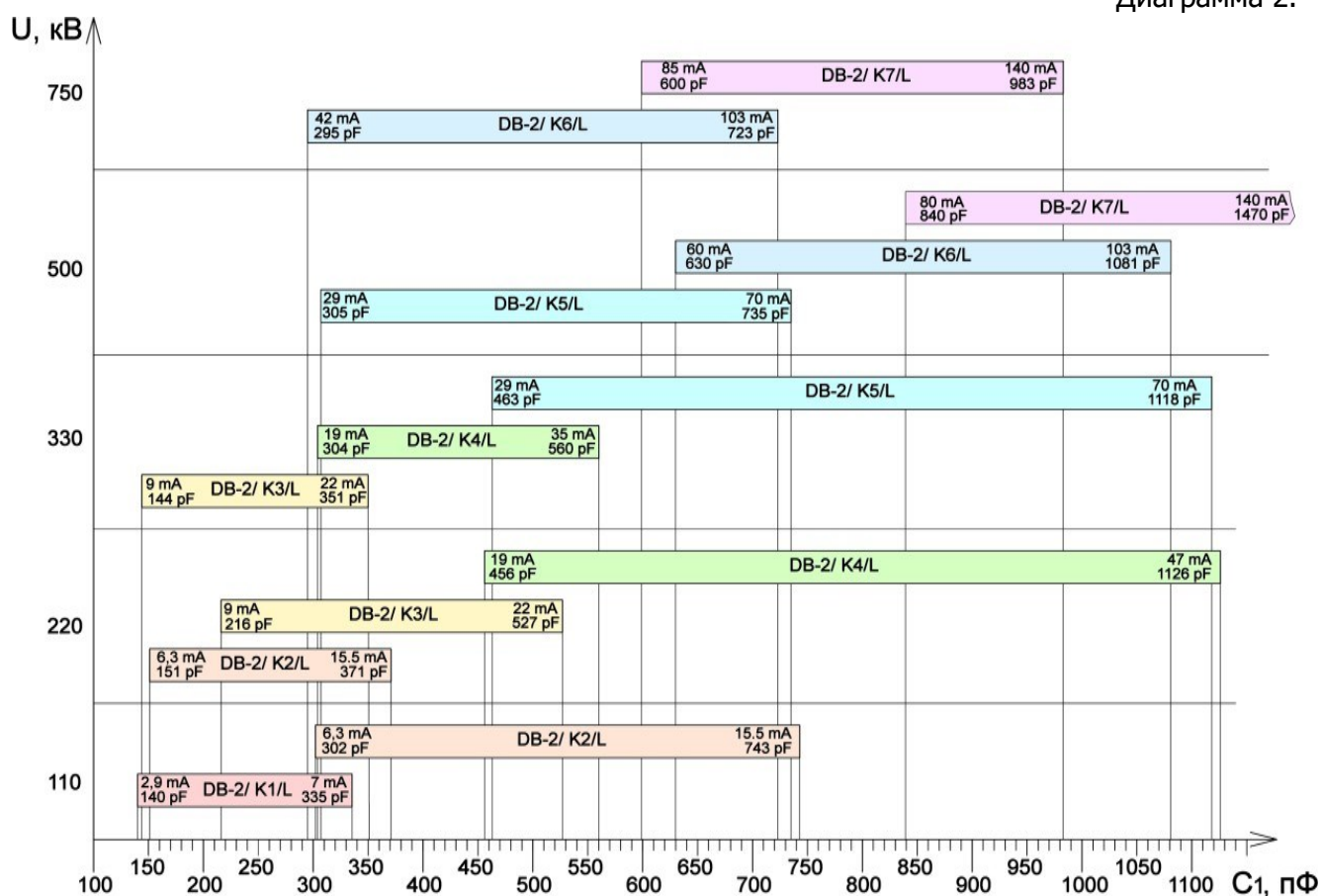
Модификация самого устройства присоединения, зависящая от параметров элементов встроенной защиты, выбирается с использованием таблиц (диаграмм) 2 и 3.

Если предполагается работа устройства присоединения с релейной системой 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 C_1 . 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.

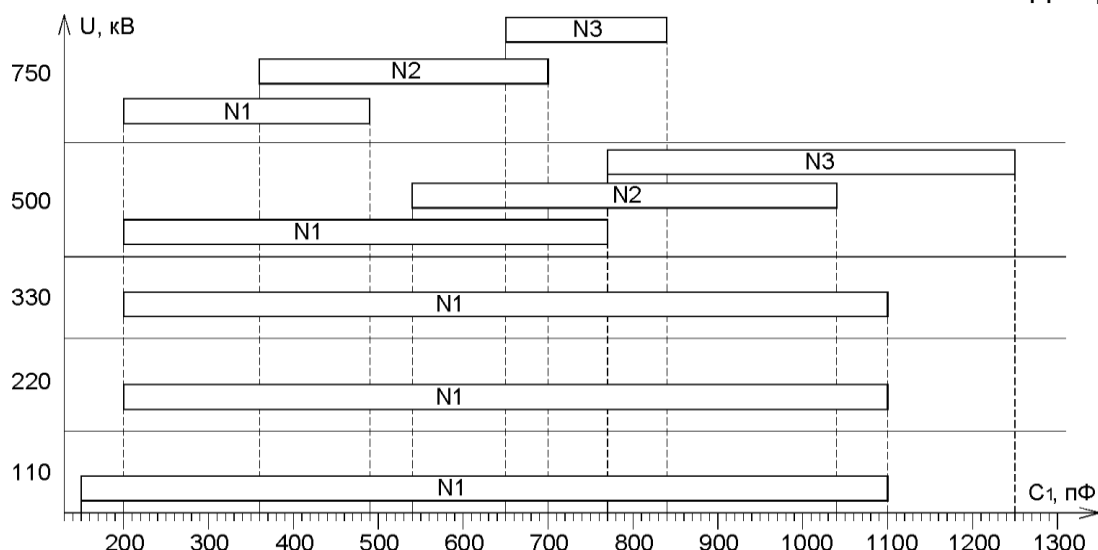
Диаграмма 2.



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 производится с использованием диаграммы 3.

Диаграмма 3.



Исполнение устройства присоединения N1 является универсальным, применимым для наиболее часто используемых вводов.

Исполнения устройств присоединения N2 и N3 применяются только для вводов высших классов рабочих напряжений.

1.2. Интеллектуальные беспроводные датчики марки DB-2S.

Для контроля высоковольтных вводов силовых трансформаторов используются достаточно сложные и дорогие системы мониторинга. Монтаж таких систем является непростой задачей, особенно на уже эксплуатируемых трансформаторах.

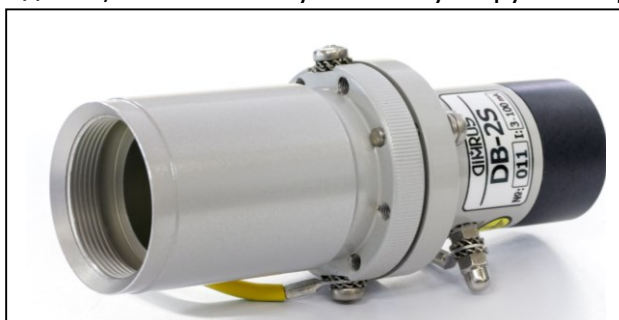


Рис. 1.2.1. Внешний вид беспроводного датчика DB-2S для контроля токов проводимости с переходником для вводов фирмы «Масса».

Этих недостатков максимально лишена система мониторинга, созданная на основе беспроводных интеллектуальных датчиков марки DB-2S, предназначенных для контроля токов проводимости изоляции ввода. Эти датчики имеют меньшую стоимость и легко монтируются на трансформаторе, как только что выпущенном с завода, так и на уже находящемся в эксплуатации.

Беспроводные датчики марки DB-2S являются интеллектуальными, поскольку все процессы регистрации сигналов, обработки и оценки технического состояния вводов производятся во внутреннем программном обеспечении. Выходной информацией датчика DB-2S являются не просто токовые сигналы, а итоговая экспертная информация о текущем техническом состоянии контролируемого высоковольтного ввода.

Технические особенности датчиков DB-2S.

Датчики марки DB-2S созданы на основе устройств присоединения марки DB-2 и отличаются от них наличием встроенной электроники для измерения, анализа и беспроводной передачи информации о состоянии контролируемых вводов. Они могут быть использованы для контроля технического состояния высоковольтных вводов всех типов и классов рабочих напряжений, оснащенных измерительным выводом.

Основной особенностью конструкции датчика DB-2S является его полностью беспроводное исполнение. Встроенная электроника датчика питается от тока проводимости контролируемого ввода, а выходную информацию о его техническом состоянии датчик передает по беспроводному интерфейсу.

Достоинства датчика DB-2S:

- Компактное защищенное беспроводное исполнение, благодаря которому датчик может быть оперативно смонтирован на вводе и включен в систему мониторинга за время короткого вывода трансформатора из эксплуатации.
- Отсутствие внешнего напряжения питания, работа его встроенной электроники осуществляется от рабочего тока проводимости ввода.
- Контроль двух технических параметров состояния ввода: тока проводимости, на основании которого рассчитывается величина емкости ввода C_1 и текущей температуры ввода.
- Передача информации о состоянии ввода в систему АСУ-ТП при помощи беспроводного интерфейса LoRa ONE на дальность до 1 км.
- Использование двойного шифрования выходной информации о состоянии ввода, передаваемой по беспроводному интерфейсу. Это обеспечивает высокую информационную безопасность системы мониторинга состояния вводов.

Практическое применение датчиков DB-2S.

При включении трансформатора в работу через емкость C_1 и внутренние зарядные цепи датчика начинает протекать ток проводимости, и электроника датчика начинает работать, определяется текущее техническое состояние ввода.

Вся информация о состоянии контролируемого ввода силового трансформатора доступна обслуживающему персоналу в двух вариантах:

- Визуальный контроль во время проведения периодических осмотров оборудования. На торцевой крышке датчика расположены два ярких светодиода, работающие в импульсном режиме. Зеленый светодиод информирует о нормальной работе датчика. Если дополнительно мигает красный светодиод, то это говорит о наличии проблем в изоляции ввода и превышении тревожного порога. Мигание только одного красного светодиода сигнализирует о превышении предаварийного порога состояния ввода.
- Удаленный мониторинг технического состояния вводов. Независимо от мигания светодиодов и просмотра информации на смартфоне датчик DB-2S периодически пересылает информацию о состоянии ввода по стандартному беспроводному интерфейсу LoRa ONE, действующему в условиях подстанции на расстоянии до 1 км. Стандартный приемник системы LoRa ONE располагается в помещении подстанции и подключен к системе АСУ-ТП. Он может собирать информацию от всех датчиков DB-2S, установленных на подстанции.

1.3. Мобильное устройство присоединения DB-M для периодического измерения параметров высоковольтных вводов переносными приборами.

Проведение измерений параметров высоковольтных вводов под рабочим напряжением при помощи переносных приборов требует использования специальных устройств присоединения, обеспечивающих высокую надежность подключения к вводу и необходимую безопасность проведения измерительных работ.

Также достаточно часто на практике встает проблема измерения частичных разрядов в изоляции силовых трансформаторов при помощи переносных приборов.

Для практической реализации этих двух важных диагностических функций цели фирма ДИМРУС выпускает трехфазный комплект устройств присоединения марки DB-M, предназначенный для проведения измерений как токов проводимости высоковольтных вводов, так и частичных



Рис. 1.3.1. Внешний вид устройства присоединения марки DB-M.

разрядов в силовых трансформаторах.

Основу трехфазного устройства присоединения составляют к измерительным выводам (ПИН) вводов силовых трансформаторов три блока защиты и коммутации марки DB-M. Эти блоки

фиксируются на корпусе бака трансформатора при помощи металлической цепочки, которая оборачивается вокруг корпуса контролируемого высоковольтного ввода.

Практическое использование такого достаточно экзотического способа монтажа блока защиты и коммутации DB-M на трансформаторе преследует две цели:

- Для обеспечения гарантированного замыкания защитных цепей блока защиты ввода на корпус бака трансформатора.
- Для исключения вероятности несанкционированного механического «сдергивания» блока DB-M с бака трансформатора (за счет приложения усилий к сигнальному кабелю к прибору Тангенс-Д).

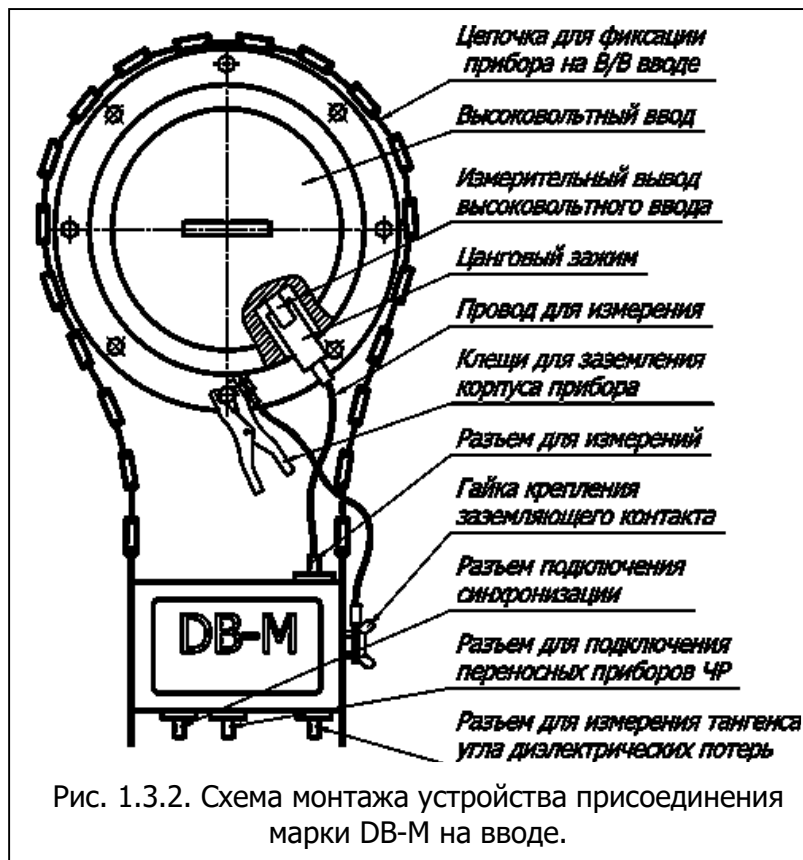


Рис. 1.3.2. Схема монтажа устройства присоединения марки DB-M на вводе.

При помощи переключателя на блоке DB-M выбирается режим работы: или измерение токов проводимости изоляции вводов (тангенс угла потерь в изоляции и емкость ввода C_1), или контроль частичных разрядов во вводе и в самом силовом трансформаторе.

Второй переключатель блока DB-M служит изменения уровня опорного синусоидального сигнала, необходимого при регистрации частичных разрядов в изоляции трансформатора. При помощи этого переключателя опорный сигнал может быть уменьшен в пять раз.



Рис. 1.3.3. Трехфазный комплект переходников для подключения устройств присоединения марки DB-M к измерительным выводам вводов.

Для подключения блока коммутации и защиты устройства присоединения марки DB-M к измерительному выводу (ПИН) высоковольтного ввода трансформатора в состав комплекта присоединения входят наборы (по 3 шт) пружинных контактов на диаметры ПИН 4, 6 и 8 мм, рассчитанные на использование с вводами большинства мировых фирм, являющихся производителями вводов.

По дополнительному заказу возможно включение в состав поставки универсального устройства присоединения DB-M присоединительных к ПИН контактов другого типа и размера.

2. Первичные датчики для регистрации импульсов частичных разрядов в высоковольтном оборудовании

Фирма DIMRUS производит и поставляет широкий 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 о серийно выпускаемых датчиках, предназначенных для регистрации частичных разрядов.

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 элементарных 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 делителя используется активное сопротивление, то выходное напряжение с такого делителя будет 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 цепей приборов.

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 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 заземлен проводником необходимого сечения (не менее 2,5 мм²). Вся цепь заземления конденсатора связи должна легко визуальным образом 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, желательно дублированные. 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 эксплуатационными параметрами любого измерительного конденсатора связи являются следующие:

- номинальное рабочее напряжение;
- испытательное напряжение, связанное с рабочим;
- 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-ХХ/М	СС-ХХ/Н
Емкость, пф	80	670, 1000
Номинальное напряжение, кВ	10, 20	12, 24, 36
Область применения	Кабели, КРУ	Универсальные
Рабочая температура	-40 ÷ +80	-40 ÷ +70

Общие рекомендации для выбора измерительных конденсаторов связи:

• Конденсаторы связи марки СС-ХХ/М имеют «стандартную» емкость 80 пф. Они 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-ХХ/Н благодаря повышенной емкости, имеют более высокую чувствительность к регистрируемым частичным разрядам. Конденсаторы связи этой марки испытываются повышенным напряжением нормированного уровня и имеют универсальное применение.

Большое влияние на выбор конденсаторов связи оказывает их стоимость, в основном определяемая стоимостью диэлектрика. По этому параметру цена конденсаторов связи может различаться на порядок. Наиболее дорогими являются конденсаторы, использующие в качестве диэлектрика природную слюду.

2.1.1. Конденсаторы связи марки СС-ХХ/М

Измерительные конденсаторы связи марки СС-ХХ/М (Coupling Capacitor, рабочее напряжение **ХХ** кВ, **Motor 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. 2.1.1.1.
Конденсатор связи
CC-10/M на
основании

Конденсаторы связи марки CC-XX/M 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 CC-XX/M 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 CC-XX/M.



Рис. 2.1.1.2.
Конденсатор связи
CC-20/M

Наряду с наличием очевидных достоинств, измерительные конденсаторы связи марки CC-XX/M 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.

Основные параметры конденсаторов связи CC-XX/M со слюдяным диэлектриком приведены в таблице 2.2.

Марка	U _p , кВ	C, пФ	Диапазон температур	Размеры, H * D, мм	Путь утечки, мм
CC-10/M	10	80	-40 ÷ +80	150 * 102	180
CC-20/M	20	80		253 * 102	300

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 CC-XX/M со слюдяным диэлектриком 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.

2.1.2. Конденсаторы связи марки CC-XX/H повышенной емкости

Конденсаторы связи марки CC-XX/H (Coupling Capacitor, рабочее напряжение 12, 24 или



Рис. 2.1.2.1. Конденсаторы связи марки CC-XX/H с рабочим напряжением 12, 24 и 36 кВ.

36 кВ), предназначены для регистрации частичных разрядов в высоковольтных шинах КРУ с напряжением 6 ÷ 35 кВ, в обмотках статоров крупных электрических машин, электродвигателей и генераторов, а также для других типов высоковольтного оборудования.

Отличительным параметром конденсаторов связи марки CC-XX/H является повышенная внутренняя емкость, значительно превышающая емкость конденсаторов связи марки CC-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 импульсов частичных разрядов существенно снижается вредное влияние высокочастотных помех, которые наводятся на сигнальные

кабели и входные цепи измерительных приборов.

Основные технические параметры измерительных конденсаторов связи повышенной емкости приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3.

Марка	U _p , кВ	C, пф	Рабочая температура	Размеры, мм H * D	Путь утечки, мм	Испытательное напряжение AC, кВ, 1 минута
CC-12/H-1000	12	1000	-30 ÷ +85	150 * 105	180	42
CC-24/H-1000	24	1000		260 * 105	360	65
CC-36/H-670	36	670		370 * 105	540	95

2.2. Датчики частичных разрядов трансформаторного типа марки RFCT.

Датчики серии RFCT (**R**adio **F**requency **C**urrent **T**ransformer), предназначены для регистрации частичных разрядов в изоляции различного высоковольтного оборудования. Они представляют собой измерительные трансформаторы тока, предназначенные для работы в высокочастотном (HF) диапазоне частот, от долей до десятков МГц.

В отличие от обычных измерительных трансформаторов тока сердечник датчиков RFCT изготавливается не из листовой электротехнической стали, а из специализированных высокочастотных материалов – ферритов. В результате эти датчики малочувствительны к токам промышленной частоты, но позволяют хорошо регистрировать периодические и импульсные сигналы в высокочастотном диапазоне частот, параметры которого зависят от используемого материала сердечника.

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 частичных разрядов 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 несколько 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.

Таблица 2.5.

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

Кроме этих датчиков мелкосерийно и даже штучно производятся несколько модификаций специализированных датчиков марки RFCT, обычно предназначенных для проведения исследовательских и уникальных диагностических работ.

Специализированные высокочастотные датчики серии RFCT отличаются от серийно производимых фирмой датчиков своими размерами, параметрами внутреннего ферритового сердечника, измененным коэффициентом трансформации. Также производятся датчики частичных разрядов марки RFCT, которые отличаются конструкцией и материалом корпуса, которые позволяют им работать в условиях сильных внешних электромагнитных полей и воздействии неблагоприятных климатических условий.

2.2.1. Датчик частичных разрядов марки RFCT-1

Простой и сравнительно дешевый высокочастотный трансформаторный датчик марки RFCT-1 предназначен для первичной регистрации частичных разрядов в изоляции различного высоковольтного оборудования.



Рис. 2.2.1.1. Датчик частичных разрядов марки RFCT-1

Датчик марки RFCT-1 может быть использован для проведения измерения частичных разрядов в системах непрерывного или периодического контроля состояния высоковольтного оборудования, а также при проведении разовых измерений.

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 нагрузки в контролируемом проводнике по направлению от высокого потенциала «к земле».

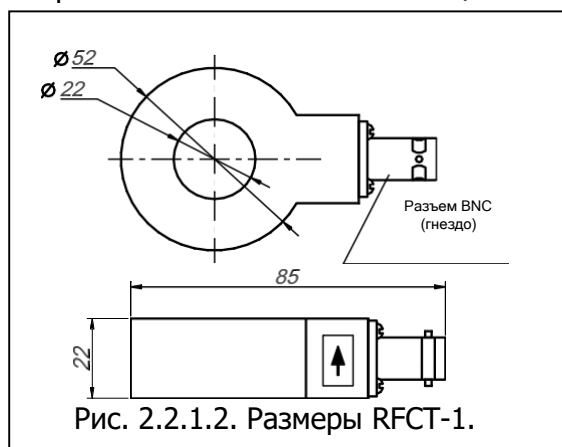


Рис. 2.2.1.2. Размеры RFCT-1.

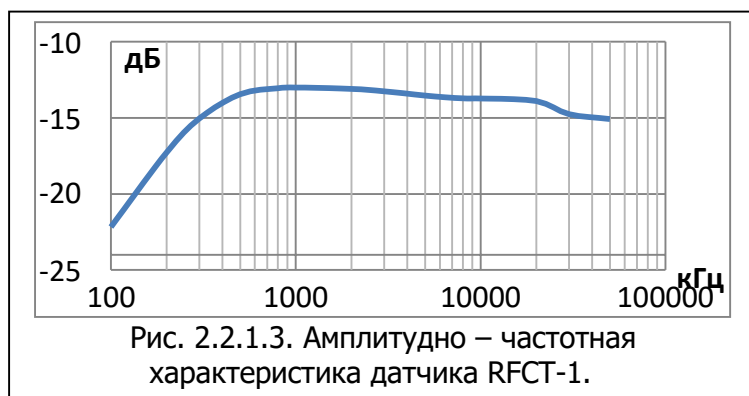


Рис. 2.2.1.3. Амплитудно – частотная характеристика датчика RFCT-1.

Датчик частичных разрядов 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 к поставке диагностического оборудования, приведенными в договоре поставки.

Датчик RFCT-1 представляет из себя высокочастотный измерительный трансформатор тока, сердечник которого выполнен из высокочастотного материала – феррита. В результате он имеет хорошую чувствительность в диапазоне до десятков МГц, и пониженную чувствительность к напряжению промышленной частоты.

Датчик частичных разрядов марки RFCT-1 не требует периодической поверки. Для него достаточно проведения процедуры калибровки измерительных цепей на объекте контроля и периодической проверки его работоспособности.



Рис. 2.2.2.1. Датчик частичных разрядов марки RFCT-2

2.2.2. 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 частичных разрядов, которые можно зарегистрировать между двумя гальванически не связанными частями одного высоковольтного оборудования. Особенностью является то, что между различными частями этого оборудования технологически возможно возникновение небольшого потенциала, до нескольких десятков вольт, при замыкании которого возможно протекание уравнивающих токов большой величины.

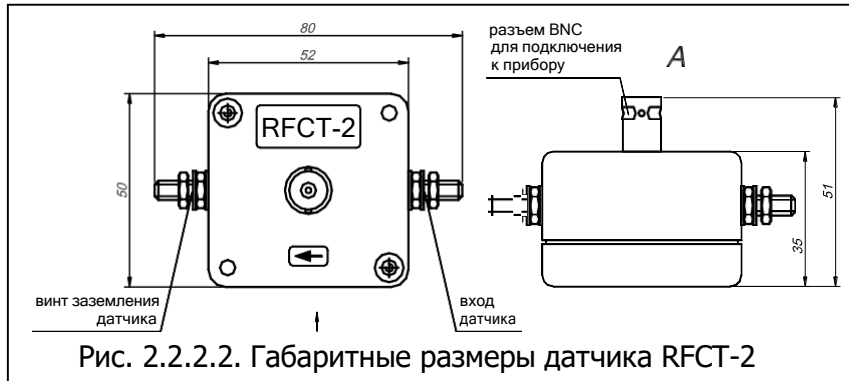


Рис. 2.2.2.2. Габаритные размеры датчика RFCT-2

силового трансформатора), потенциал между которыми, в случае протекания значительных уравнивающих токов по цепям заземления, может достигать величины единиц и даже десятка вольт.

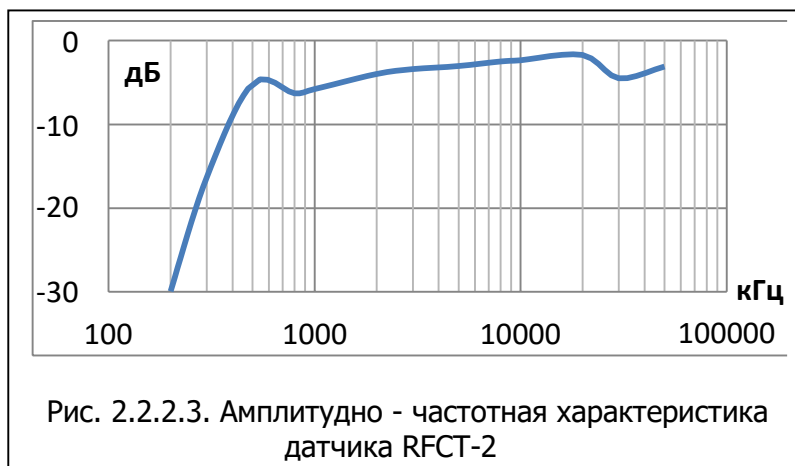


Рис. 2.2.2.3. Амплитудно - частотная характеристика датчика RFCT-2

трансформатора в выходном сигнале датчика отсутствуют токи промышленной частоты 50 Гц, 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 уравнивающих 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, который монтируется в первичной цепи датчика марки RFCT-2, здесь отсутствует. Поэтому через входную цепь датчика RFCT-3 могут протекать

Это может быть, например, измерение частичных разрядов между корпусом высоковольтного турбогенератора и экраном отходящего от него токопровода. Или же это может быть измерение частичных разрядов между корпусами (баками) двух силовых трансформаторов (или отдельных фаз группового

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 силиконовой резиной, в зависимости от условий будущей эксплуатации датчика.

Благодаря использованию в конструкции датчика высокочастотного разделительного

токи промышленной частоты (величиной не более 1А).

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 во вводах силовых трансформаторах при периодических измерениях.

С этой целью через первичную обмотку замыкался на землю измерительный вывод высоковольтных вводов трансформаторов. Практика проведения измерений показала, что в этом случае не удастся измерить ток проводимости ввода, что снижало эффективность таких испытаний. В настоящее время для этих целей предлагаются датчики марки DB-2 различных модификаций, а датчик RFCT-3 больше не производится.

2.2.4. Датчик частичных разрядов марки RFCT-4

Высокочастотный датчик марки RFCT-4 предназначен для регистрации частичных разрядов в системах постоянного и периодического мониторинга состояния изоляции различного 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 одинаковой формы. Это позволяет оперативно монтировать датчики на оборудовании, не разрывая контролируемую электрическую цепь, что иногда по условиям эксплуатации невозможно сделать.

Кроме того, датчик марки RFCT-4 имеет сравнительно большой внутренний диаметр, 68 мм, что позволяет оперативно монтировать его на токоведущих заземляющих (!) элементах большого сечения, которые часто применяются в составе

мощного высоковольтного оборудования.

В цепях заземления мощного электротехнического оборудования, где предполагается использовать датчики марки RFCT-4, технологически возможно протекание импульсных и коммутационных токов большой величины. Эти токи могут иметь крутые фронты нарастания и спада, поэтому могут передавать через массивный ферритовый сердечник во вторичную обмотку датчика импульсы большой энергии. Для исключения влияния этих импульсов на измерительные приборы регистрации частичных разрядов в датчик марки RFCT-4 встроена защита от импульсных токов (коммутационных) с ограничением выходного напряжения вторичной обмотки на уровне 15 В.

Второй особенностью работы датчиков марки RFCT-4 является то, что даже в нормальных режимах работы по заземляющим шинам и проводникам, на которых они устанавливаются, возможно протекание значительных токов промышленной частоты. При этом возникает насыщение сердечника датчика сильными магнитными полями, что приводит к изменению (снижению) чувствительности датчика и изменению формы выходного сигнала датчика. Для уменьшения влияния насыщения магнитопровода датчика RFCT-4 в зазор сердечника между половинами датчика устанавливается изолирующая прокладка, толщина которой зависит от величины тока промышленной частоты и может достигать до 2 мм. За счет увеличения магнитного сопротивления сердечника и возникновения потоков рассеивания уменьшается степень насыщения сердечника токами промышленной частоты.

Датчик производится в литом пластиковом (АБС) корпусе, в двух половинах которого располагается разрезанный высокочастотный сердечник большого сечения и диаметра. Весь свободный внутренний объем датчика заливается эпоксидной смолой или специализированной

силиконовой резиной.

При монтаже датчика в условиях влияния солнечной радиации, больших колебаний температуры окружающей среды и высокой влажности с датчиком измерения частичных разрядов марки RFCT-4 поставляется комплект крепления, дополнительно защищающий

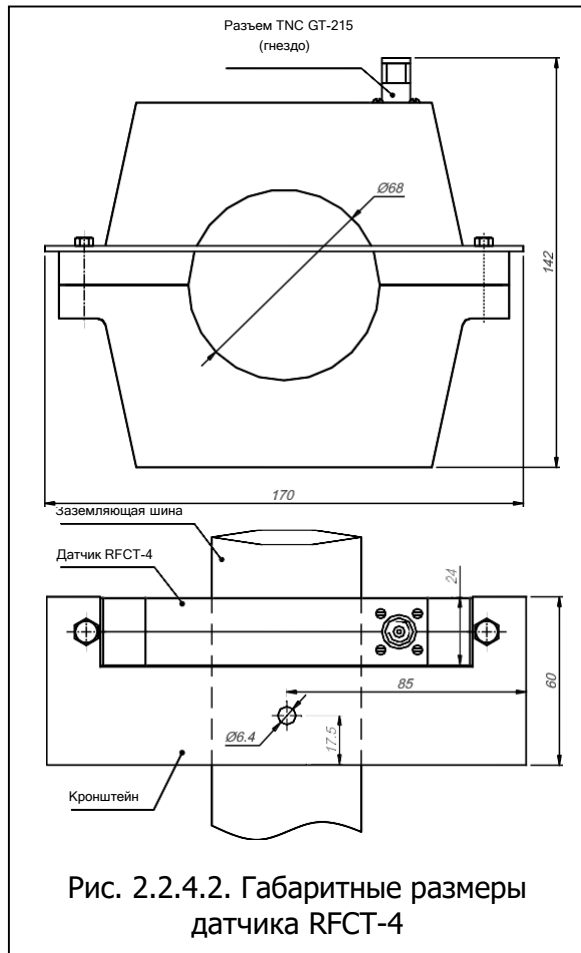


Рис. 2.2.4.2. Габаритные размеры датчика RFCT-4

пластиковый корпус датчика от солнечной радиации. Для особо тяжелых условий эксплуатации поставляется модификация датчика RFCT-4, имеющая обозначение RFCT-4.1, имеющая металлический герметичный корпус.

Особенности монтажа и эксплуатации датчика частичных разрядов марки RFCT-4.

Благодаря использованию в конструкции датчика высокочастотного ферритового сердечника, в выходном сигнале датчика отсутствуют сигналы 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, которые в основном обусловлены высокочастотными импульсами частичных разрядов в изоляции.

Датчик марки RFCT-4 обычно монтируется на заземляющих шинах, проводах, трубах высоковольтного оборудования. 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. Он калибруется непосредственно на высоковольтном объекте в составе полной измерительной схемы

регистрации частичных разрядов. Обычно это производится после монтажа датчика.

Для стационарных систем мониторинга высоковольтного оборудования датчик RFCT-4 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



Рис. 2.2.5.1. Датчик частичных разрядов марки RFCT-5

Датчик RFCT-5 предназначен для использования в системах периодического мониторинга состояния изоляции высоковольтного оборудования. Основным назначением датчика RFCT-5 является оперативная регистрация импульсов частичных разрядов в высоковольтных выключателях, ячейках КРУ и подходящих к ним кабельных линиях, в цепях нейтрали силовых трансформаторов и т. д. при помощи переносных измерительных приборов.

Датчик RFCT-5 производится в литом пластиковом (АБС пластик) корпусе, в котором располагается высокочастотный сердечник. Конструктивно датчик представляет собой «разъемные» высокочастотные измерительные клещи, позволяющие проводить измерения частичных разрядов в проводниках с максимальным диаметром до 24 мм. Габаритные размеры датчика RFCT-5 составляют 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.

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 HF.

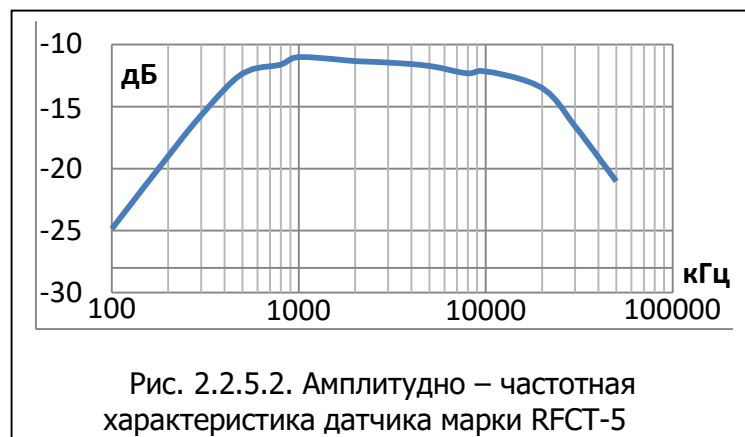


Рис. 2.2.5.2. Амплитудно – частотная характеристика датчика марки RFCT-5

По условиям безопасности при помощи датчика RFCT-5 проводятся измерения частичных разрядов в цепях заземления с допустимым 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 комплекс 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



Рис. 2.2.6.1. Датчик частичных разрядов RFCT-6

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 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 эффективно тогда, когда необходимо оперативно провести сравнительное измерение частичных разрядов в большом количестве точек переносным прибором. Это датчик «индикаторного» типа.

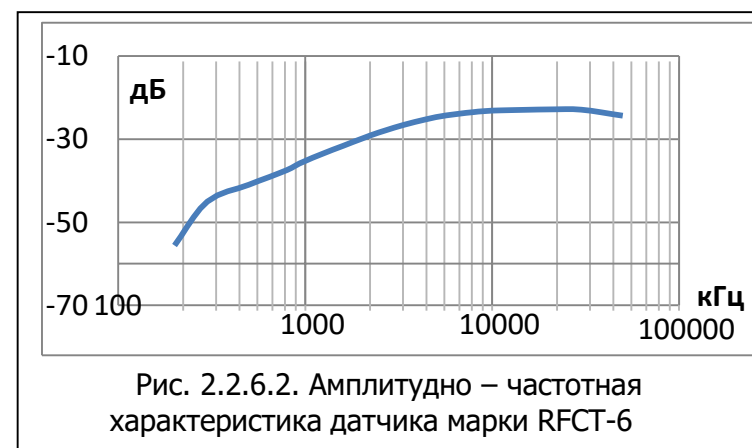


Рис. 2.2.6.2. Амплитудно – частотная характеристика датчика марки RFCT-6

Это обусловлено тем, что сердечник датчика не охватывает токоведущий проводник, а только прикасается к нему. Соответственно получить хорошую точность измерения импульсов частичных разрядов в этом случае практически невозможно.

Датчик RFCT-6 производится в пластиковом 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.

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. 2.2.7.1. 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, что 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.

Таблица 2.2.7

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

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

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 немагнитной прокладки, датчик RFCT-7 без значительной потери точности измерений частичных разрядов допускает протекание токов различной амплитуды.

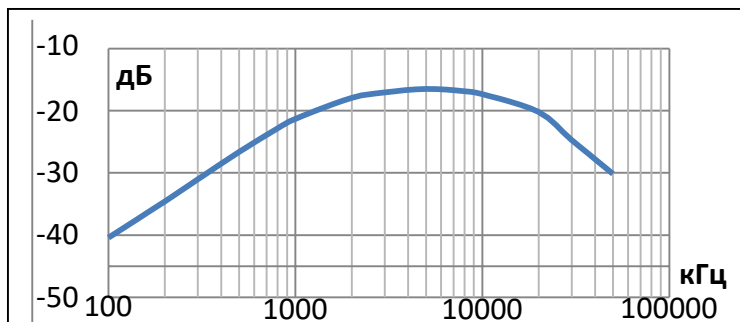


Рис. 2.2.7.2. Амплитудно – частотная характеристика датчика марки RFCT-7

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 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 датчика должна производиться на объекте контроля «на месте», после завершения монтажа датчика.

2.2.8. Датчик марки DRTD-3 для измерений частичных разрядов в обмотке статора электрических машин

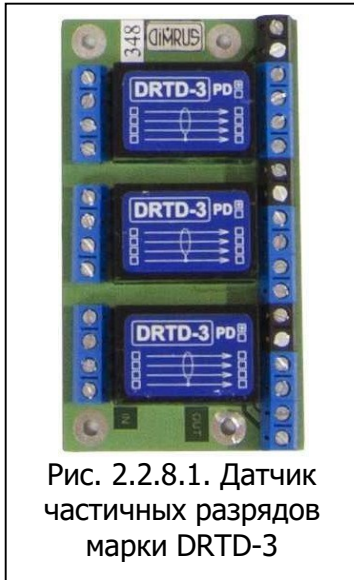


Рис. 2.2.8.1. Датчик частичных разрядов марки DRTD-3

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

При использовании для регистрации частичных разрядов 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 измерительный 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. Трансформаторные датчики RFCT специального исполнения.

Стандартные серийные датчики частичных разрядов серии RFCT имеют универсальную конструкцию и рассчитаны для использования в системах контроля изоляции различного высоковольтного оборудования.

Эти датчики имеют пластиковый корпус, который рассчитан для установки внутри помещений. По температурным параметрам такие датчики могут быть установлены вне помещений, но стойкость пластиковых корпусов к ультрафиолету может оказаться недостаточной. При наружной установке необходимо применять дополнительную защиту от ультрафиолетового излучения.

В некоторых случаях датчики частичных разрядов марки RFCT предполагается монтировать на заземляющих шинах и кабелях большого сечения, для чего стандартные датчики, из-за ограниченных габаритов внутреннего окна, не могут быть использованы.

Также, по таким заземляющим шинам большой величины возможно протекание значительных токов промышленной частоты, которые, за счет насыщения сердечника датчика, могут изменить их чувствительность. Большие первичные токи могут наводить во вторичных цепях датчиков высокие напряжения на входах приборов измерения частичных разрядов, и нарушать их работоспособность.

С учетом этих особенностей применения трансформаторных датчиков марки RFCT фирмой разработаны и малым тиражом производятся специализированные датчики частичных разрядов, имеющих уникальные размеры и конструкцию.

Первый специализированный датчик частичных разрядов в металлическом корпусе был разработан на основе серийного разрезного датчика марки RFCT-4 в пластиковом корпусе, поэтому он, как и все последующие, получили обозначение вида RFCT-4.X.

2.3.1. Датчик частичных разрядов марки RFCT-4.2.



Высокочастотный трансформатор тока RFCT-4.2. предназначен для использования в системах постоянного и периодического мониторинга состояния изоляции высоковольтного оборудования.

Назначение RFCT-4.2. – регистрация импульсов от частичных разрядов в высоковольтных выключателях, ячейках КРУ и подходящих к ним кабельных линий, в цепях нейтрали силовых трансформаторов, и т. д.

Большой внутренний диаметр датчика RFCT-4.2, позволяющий монтировать его на токоведущих элементах большого сечения, расширяют возможности его практического применения.

Датчик марки RFCT-4.2. производится в металлическом корпусе, в котором располагается высокочастотный сердечник

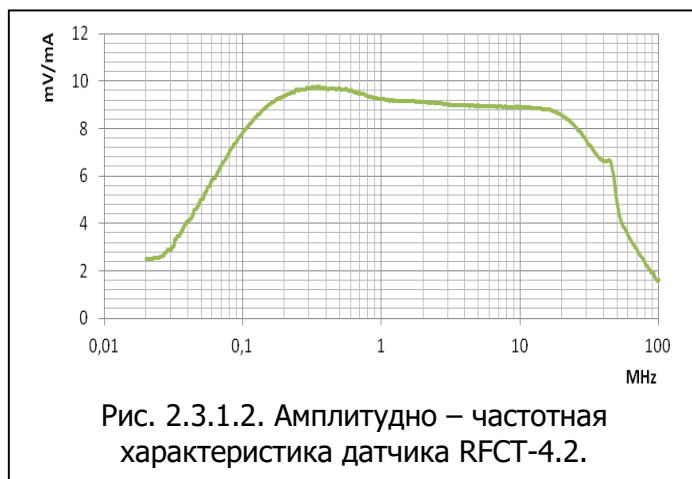
большого сечения и диаметра. Весь свободный внутренний объем RFCT-4.2. заливается эпоксидной смолой, или специализированной силиконовой резиной.

Благодаря использованию в конструкции RFCT-4.2. высокочастотного сердечника, в выходном сигнале RFCT-4.2. отсутствуют токи промышленной частоты 50 герц, RFCT-4.2. на них не реагирует. В выходном сигнале RFCT-4.2. присутствуют только сигналы от высокочастотных импульсов, протекающих по контролируемой цепи заземления высоковольтного устройства, в основном обусловленные импульсами частичных разрядов в изоляции.

Основные технические параметры RFCT-4.2.

1. «RFCT-4.2» устанавливается на шине заземления и на глухозаземленной нейтрали. Если нейтраль не глухозаземленная, то «RFCT-4.2» на нее устанавливать нельзя!

2. Максимальный переменный ток (50 Гц) без насыщения датчика составляет 10А.



Максимальный переменный ток (50Гц), не приводящий к насыщению датчика - 100А.

3. Изоляция «RFCT-4.2» рассчитана на рабочее напряжение до 500 В.

4. В RFCT-4.2. встроена защита от импульсных токов (коммутационных) с ограничением выходного напряжения на уровне 15 В.

5. Направление стрелки на корпусе RFCT-4.2. должно совпадать с направлением протекания тока «к земле» в контролируемом проводнике.

6. RFCT-4.2. может эксплуатироваться при температуре

окружающего воздуха от -60° до +80°С и относительной влажности воздуха до 98%, без конденсации влаги.

7. Степень защиты от внешних воздействий - IP65.

8. RFCT-4.2. не требует проведения независимой периодической поверки и калибровки. Это производится на объекте, после монтажа.

2.3.2. Датчик частичных разрядов марки RFCT-4.4.



Высокочастотный трансформатор тока RFCT-4.4. предназначен для использования в системах постоянного и периодического мониторинга состояния изоляции высоковольтного оборудования.

Назначение датчика RFCT-4.4. – регистрация импульсов от частичных разрядов в высоковольтных выключателях, ячейках КРУ и подходящих к ним кабельных линий, в цепях нейтрали силовых трансформаторов, и т. д.

Особая форма корпуса высоковольтного трансформатора тока RFCT-4.4. с окном размером 19 * 79 мм позволяет монтировать его на плоских шинах большого сечения. Для удобства монтажа RFCT-4.4. изготовлен разъемным, состоящим из

двух половин. Это позволяет оперативно монтировать его на токоведущих элементах.

Датчик марки RFCT-4.4. производится в металлическом корпусе, в котором располагается высокочастотный сердечник большого сечения и диаметра. Весь свободный внутренний объем RFCT-4.4. заливается эпоксидной смолой, или специализированной силиконовой резиной.

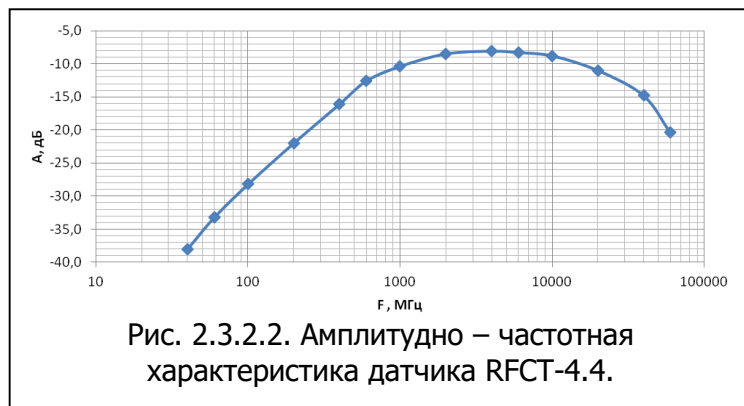
Основные технические параметры RFCT-4.4.

1. «RFCT-4.4» может эксплуатироваться при температуре окружающего воздуха от минус 60° до +80°С и относительной влажности воздуха до 98%, без конденсации влаги.

2. Степень защиты от внешних воздействий - IP65

3. Изоляция RFCT-4.4. рассчитана на рабочее напряжение до 500 В.

4. В RFCT-4.4. встроена защита от импульсных токов (коммутационных) с ограничением выходного напряжения на уровне 15 В.



5. RFCT-4.4. монтируется на заземляющих шинах, проводах, трубах. Направление стрелки на корпусе RFCT-4.4. должно совпадать с направлением протекания тока «к земле» в контролируемом проводнике.

6. Для регистрации импульсов частичных разрядов в высоковольтных электродвигателях, работающих в условиях опасных производств, выпускается модификация RFCT-4.4. с обозначением степени безопасности

1ExiaIIBCT6.

7. Датчик RFCT-4.4. не требует проведения независимой периодической поверки и калибровки. Калибровка всей цепи измерения ЧР производится на объекте, после завершения монтажа измерительной схемы.

2.3.3. Датчик частичных разрядов марки RFCT-4.6.



Назначение датчика марки RFCT-4.6. – регистрация импульсов от частичных разрядов в высоковольтных выключателях, ячейках КРУ и подходящих к ним кабельных линий, в цепях нейтрали мощных силовых трансформаторов, и другого электротехнического оборудования.

Большой размер внутреннего окна датчика RFCT-4.6. (87 * 164 мм), позволяющий монтировать его на токоведущих элементах большого сечения, расширяют возможности его практического применения.

Для удобства монтажа датчик RFCT-4.6. сделан разъемным, состоящим из двух металлических половин. Это позволяет оперативно монтировать его на токоведущих элементах. Половинки датчика соединяются при

помощи двух болтов.

Высокочастотный трансформатор тока марки RFCT-4.6. предназначен для установки только в цепях заземления высоковольтного оборудования, поэтому его электрическая изоляция рассчитана на напряжение до 500 вольт.

Оптимальный рабочий диапазон частот для RFCT-4.6. составляет от 0,15 до 10 МГц.

Основные параметры датчика RFCT-4.6:

1. Датчик RFCT-4.6. может эксплуатироваться при температуре окружающего воздуха от -60° до +80°С и относительной влажности воздуха до 98%, без конденсации влаги.

2. Степень защиты датчика RFCT-4.6. от внешних воздействий соответствует IP65.



3. Изоляция RFCT-4.6. рассчитана на рабочее напряжение до 500 В.

4. В датчик RFCT-4.6. встроена защита от импульсных токов (коммутационных) с ограничением выходного напряжения на уровне 15 В.

5. Датчик RFCT-4.6. монтируется на заземляющих шинах, проводах, трубах. Направление стрелки на корпусе RFCT-4.6. должно совпадать с направлением протекания тока «к земле» в контролируемом проводнике.

7. RFCT-4.6. не требует проведения независимой периодической проверки и калибровки. Это производится на объекте, после монтажа.

2.3.4. Датчик частичных разрядов марки RFCT-4.7.



Датчик марки RFCT-4.7. предназначен для использования в системах постоянного и периодического мониторинга состояния изоляции высоковольтного оборудования. Он имеет максимальные размеры из всей серии датчиков RFCT, производимых фирмой ДИМУС для регистрации частичных разрядов.

Конструктивно датчик оптимально монтировать на токопроводах заземления, имеющих трубчатую конструкцию, имеющую внешний диаметр до 140 мм.

Датчик производится в металлическом герметичном разъемном корпусе, в двух половинах которого располагается разрезанный высокочастотный кольцевой сердечник уникально большого сечения. Весь свободный внутренний объем датчика заливается эпоксидной смолой или специализированной силиконовой резиной.

Для удобства монтажа две половинки датчика соединяются при помощи шарнира и пружинной застёжки. Это позволяет оперативно монтировать его на токоведущих элементах заземления большого сечения, что значительно расширяет возможности его практического применения.

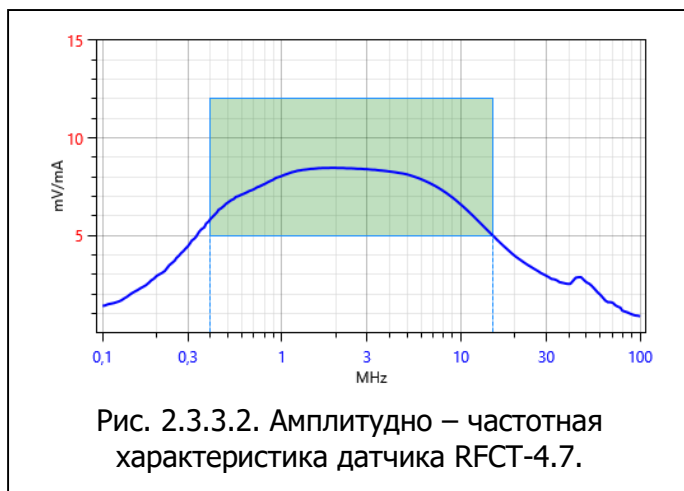


Рис. 2.3.3.2. Амплитудно – частотная характеристика датчика RFCT-4.7.

Использование в датчике частичных разрядов марки RFCT-4.7. специальных корректирующих и дополнительных элементов защиты входных цепей измерительных приборов позволило скомпенсировать влияние ферритового сердечника очень большого размера на регистрацию высокочастотных импульсов частичных разрядов.

В результате была получена амплитудно – частотная характеристика, позволяющая использовать датчик RFCT-4.7. для регистрации частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования практически всех типов.

2.4. Электромагнитные антенны для измерения частичных разрядов на основе контроля высокочастотных поверхностных токов.

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

Электромагнитные антенны регистрируют или прямое излучение от зоны дефекта в изоляции, или наличие высокочастотных токов, которые наводятся импульсами частичных разрядов в конструкциях оборудования и замыкаются по ним «на землю».

Очевидным достоинством антенн является возможность оперативной установки их на металлических открытых поверхностях высоковольтного оборудования.

2.4.1. Электромагнитные антенны TSM 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.



Рис. 2.4.1.1. Емкостные датчики частичных разрядов типа TSM

Датчики типа TSM производятся в пластиковом (АВС) 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 - 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 - датчик со встроенной электроникой, предназначенный для использования в системах стационарного мониторинга. Входной высокочастотный сигнал внутри датчика интегрируется и преобразуется по частоте. В результате на выходе датчика сигналы имеют частоту в диапазоне $1 \div 20$ 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 $2,7 \div 6,0$ 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 - 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 возможно возникновения частичных разрядов. Этим обеспечивается лучшая чувствительность при регистрации частичных разрядов.

2.4.2. Комплексный датчик марки PD-Line для регистрации частичных разрядов в кабельных линиях



Рис. 2.4.2.1. Комплексный датчик частичных разрядов марки PD-Line с блоком сопряжения

Комплексный датчик PD-Line предназначен для регистрации параметров частичных разрядов и определения направления движения высокочастотных импульсов в кабельных линиях. Для этого внутри датчика PD-Line смонтированы два датчика различного типа, которые регистрируют электрическую и магнитную составляющие волны электромагнитного поля.

Зарегистрированный сигнал от PD-Line передается в блок сопряжения, который является и блоком питания устройства. Далее сигнал передается в регистратор частичных разрядов. К одному блоку сопряжения может быть подключено до трех комплексных датчиков D-Line.

Для контроля технологических режимов работы кабельной линии при помощи устройства PD-Line дополнительно производится измерение температуры поверхности кабельной линии при помощи контактного датчика.

Датчик тока промышленной частоты, установленный в устройстве PD-Line, предназначен

для формирования сигналсинхронизации процесса измерения с синусоидой питающей сети, что необходимо для проведения корректной диагностики типа дефекта, возникшего в изоляции кабельной линии или муфты.

Устройство контроля PD-Line устанавливается непосредственно на поверхности высоковольтного кабеля. Если устройства PD-Line устанавливаются с двух сторон соединительной муфты, то это дает возможность разделить частичные разряды, возникающие в муфте, от разрядов, возникающих вне контролируемой муфты, «пролетающих через муфту» «транзитом».

Характеристики устройства PD-Line для контроля ЧР:

Частотный диапазон регистрации магнитной составляющей поля	0,1 ÷ 30,0 МГц
Частотный диапазон регистрации электрической составляющей поля	2 ÷ 100 МГц
Диапазон измерения температуры	-60 ÷ +150 °C
Минимальный ток нагрузки, необходимый для работы датчика синхронизации	5 А
Диапазон рабочих температур устройства контроля и блока сопряжения	-60°C ÷ +70 °C
Относительная влажность воздуха до 95 % при температуре + 25 °C	
Габаритные размеры устройства контроля PD-Line (без кабеля), мм	140×40×14
Габаритные размеры блока сопряжения PD-Line, мм	110×90×35
Кабель U/UTP Cat 5e PE 4x2x0.52, в металлорукаве, м	15

2.5. Электромагнитные антенны для регистрации частичных разрядов

Одним из перспективных направлений в создании систем периодического 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 при создании 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 ÷ 1000 МГц.

Основой для выбора такого частотного диапазона являются следующие причины:

- Большинство типов дефектов в изоляции сопровождается частичными разрядами до 1000 pK, которые генерируют достаточно высокочастотные электромагнитные импульсы сверхвысокочастотного 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 многократно снижается.

Электромагнитное излучение в сложном баковом высоковольтном оборудовании распространяется по достаточно сложной траектории, сопровождается сложно анализируемыми отражениями, наложениями, 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 электромагнитных антенн, которые наиболее часто изготавливались фирмой для различных диагностических систем регистрации частичных разрядов в UHF диапазоне частот.

2.5.1. 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 марки AES применяется для тех типов КРУЭ, у которых в зоне соединения двух камер (объемов КРУЭ) имеется радиопрозрачная щель или окно, т. е. имеется неметаллическая прокладка.



Рис. 2.5.1.1. Датчик марки AES.



Рис. 2.5.1.2. Датчик марки AES, смонтированный на стыке корпусов (объемов) КРУЭ.

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 закрывающие (экранирующие) остальную часть 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 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.

2.5.2. Датчик марки AES-T для регистрации частичных разрядов в баках силовых трансформаторов

Измерение частичных разрядов в силовых трансформаторах наиболее эффективно проводить при помощи датчиков – электромагнитных антенн UHF (СВЧ) диапазона частот, смонтированных внутри бака.



Рис. 2.5.2.1. Датчик марки AES-T для регистрации частичных разрядов в баковом оборудовании.

При таких измерениях достигается самая высокая достоверность, так как уровень наведенных извне высокочастотных помех является минимальным из-за экранирующих свойств металлического бака трансформатора.

Датчик марки AES-T предназначен для измерения частичных разрядов в баках силовых трансформаторов. Датчик регистрирует импульсы частичных разрядов в UHF-диапазоне частот, от 400 до 1500 МГц.

Датчик состоит из двух частей:

- Встраиваемая внутрь бака радиопрозрачная оболочка, монтируемая на заводе – изготовителе трансформатора.

- Антенна UHF диапазона частот, которая может устанавливаться и сниматься в процессе эксплуатации без потери герметичности бака трансформатора.

Датчик марки AES-T заранее устанавливается на баке трансформатора на заводе – изготовителе. Датчик может монтироваться на стенке бака трансформатора, или же на одном из технологических лючков на баке.

Предварительная установка датчика позволяет проводить измерение частичных разрядов в процессе эксплуатации трансформатора оперативно и безопасно, без вывода его из эксплуатации.

Параметры датчика AES-T

Частотный диапазон ЧР, МГц	400 ÷ 1500
Максимальный диаметр, мм	165
Выступ в бак трансформатора, мм	98
Внешний разъем антенны	N-Type
Вес датчика, кг	4,5

2.5.3. 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 то датчик марки AES/W является разборным и состоит из трех основных элементов:



Рис. 2.5.3.1. Датчик AES/W, измерительная часть.



Рис. 2.5.3.2. Датчик AES/W на смотровом окне

- Самого датчика в корпусе из нержавеющей стали 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 его быстрый демонтаж при необходимости проведения 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.

2.5.4. Датчик марки ACS для регистрации частичных разрядов в КРУЭ



Рис. 2.5.4.1. Встраиваемый датчик частичных разрядов марки ACS

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

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 эксплуатационный 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.

2.5.5. 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 $200 \div 900$ МГц.

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

В системе мониторинга и диагностики состояния изоляции оптимально использование пяти антенн этой марки: по две на каждой из двух сторон обмотки в зоне лобовых частей обмотки и одна антенна в зоне подключения соединительного высоковольтного кабеля. Такая



Рис. 2.5.5.1. Антенна ВА-1 для измерения частичных разрядов в статоре электрических

конфигурация датчиков дает возможность эффективно отстроиться от внешних высокочастотных помех, поступающих по высоковольтному кабелю из питающей сети, и провести 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 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.

2.5.6. Направленная логопериодическая антенна марки LPA-1



Рис. 2.5.6.1. Направленная логопериодическая антенна LPA-1

Это переносной вариант широкополосной направленной электромагнитной антенны, предназначенной 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.

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 различаться 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 обычно производится на основе сравнения результатов измерений частичных разрядов, проводимых при изменении местоположения антенны и ее направления на различные элементы контролируемого оборудования.

2.6. 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 ультразвуковых 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 уже 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 важные 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 локации 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.



Рис. 2.6.1.1. Акустический датчик частичных разрядов марки AC-Sensor с магнитным креплением



Рис. 2.6.1.2. Акустический датчик частичных разрядов марки AC-Sensor в монтажном корпусе

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

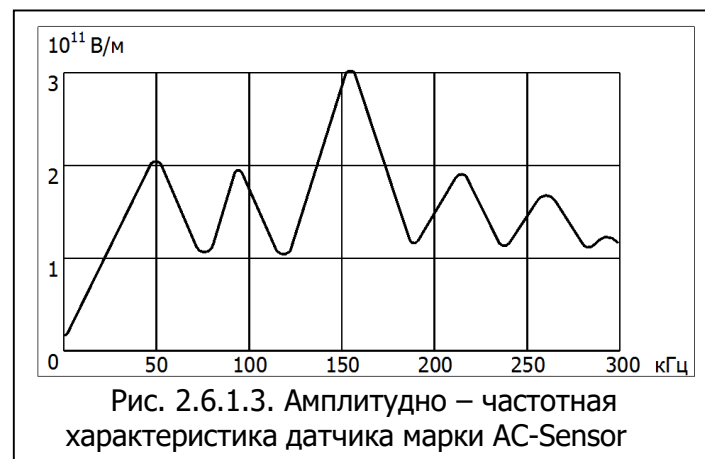
По принципу своего действия AC-Sensor является акустическим датчиком частичных разрядов классического зарезонансного типа, в котором частота установочного механического резонанса пьезокристалла находится ниже минимальной границы частотного диапазона регистрируемых импульсов частичных разрядов.

Большое количество подобных датчиков применяется в системах акустико-эмиссионного контроля состояния сложных и ответственных 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 интегрирование в конструкцию корпуса магнитное крепление.

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 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.



Амплитудно – частотная характеристика датчика марки AC-Sensor приведена на рисунке 2.5.1.3. Эта зависимость получена при жестком болтовом креплении датчика на поверхности контролируемого оборудования. Если же для монтажа датчика используется быстросъемное магнитное крепление, то в этом случае необходимо обязательно применять дополнительные меры по повышению акустической проницаемости переходного зазора «датчик – корпусоборудования».

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.

2.6.2. Резонансный акустический датчик частичных разрядов AR-Sensor

Акустический датчик частичных разрядов марки AR-Sensor предназначен для проведения оперативных измерений частичных разрядов, 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.



Рис. 2.6.2.1. Резонансный акустический датчик AR-Sensor для переносных приборов и систем мониторинга

Датчик AR-Sensor состоит из собственно пьезокристалла и дополнительной электронной платы, предназначенной для повышения чувствительности датчика. Оба эти элемента объединены в одном компактном пластиковом корпусе, подключаемом к измерительному прибору при помощи сигнального кабеля. Питание для электронной платы датчика подается по тому же экранированному кабелю, по которому производится регистрация выходного сигнала датчика.



По схеме и электрическим параметрам своего подключения к измерительному прибору акустические датчики AC-Sensor и AR-Sensor взаимозаменяемы. 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. Интеллектуальные датчики для контроля и анализа частичных разрядов в высоковольтном оборудовании

В настоящее время появились современные интеллектуальные датчики контроля технического состояния изоляции высоковольтного оборудования, которые объединяют в себе свойства первичного датчика регистрации частичных разрядов и устройства обработки полученных сигналов, оснащенное встроенной экспертной системой.

При помощи автоматизированных функций этой экспертной системы решается несколько важных эксплуатационных задач:

- Определяется текущее техническое состояние и проблемы контролируемой высоковольтной изоляции.
- Определяется тип дефектов, являющихся источниками частичных разрядов, оценивается степень их развития и опасность для дальнейшей эксплуатации оборудования.
- На основании автоматически создаваемой адаптивной цифровой модели производится планирование оптимальных сроков и объемов ремонтных воздействий.

Примером такого интеллектуального устройства, предназначенного для силовых трансформаторов, является датчик Smart/PD-2.

3.1. Интеллектуальный датчик Smart/PD-2 для измерения и анализа частичных разрядов в баках силовых трансформаторов.



Рис. 3.1.1. Внешний вид интеллектуального датчика Smart/PD-2

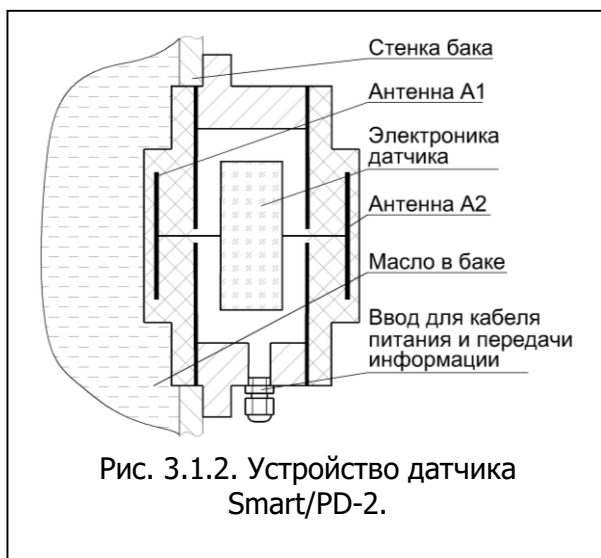


Рис. 3.1.2. Устройство датчика Smart/PD-2.

Для проведения измерения СВЧ частичных разрядов в изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов используется датчик марки Smart-PD/2.

Основным назначением интеллектуальных датчиков частичных разрядов марки Smart-PD/2 является определение текущего технического состояния изоляции трансформаторов в режиме мониторинга.

Итоговым заключением работы датчика является информация о допустимом сроке безопасной эксплуатации контролируемого трансформатора, определенном на основании построения и анализа параметров адаптивной цифровой модели изоляционной системы.

Интеллектуальный датчик марки Smart-PD/2 является современной и эффективной заменой «больших» систем мониторинга частичных разрядов, обычно используемых для контроля технического состояния изоляции силовых трансформаторов.

Наличие в датчике экспертной системы максимально повышает информативность получаемых диагностических заключений, и, следовательно, кратно снижает стоимость поставки диагностического оборудования.

Для эффективной отстройки от высокочастотных помех в датчике Smart-PD/2 использованы две одинаковые электромагнитные антенны, одна из которых A1 располагается внутри бака трансформатора, а вторая A2 снаружи.

Информация от двух электромагнитных антенн синхронно обрабатывается экспертной системой датчика в дифференциальном режиме. Такие технические и алгоритмические решения

позволяют эффективно разделять дефекты в изоляции, возникшие внутри и вне бака

трансформатора.

Датчики Smart-PD/2 легко интегрируются в любую систему мониторинга трансформатора при помощи проводного интерфейса связи RS-485. Питание для встроенной электроники датчика также берется из шкафа системы мониторинга.

Датчик Smart-PD/2 может быть подключен непосредственно к любому уровню системы АСУ-ТП энергетического предприятия. В этом случае он будет использоваться как автономный интеллектуальный датчик технического состояния изоляции силового трансформатора.

Для такого использования датчика необходима переходная коробка с блоком питания для электроники датчика, которая монтируется рядом с трансформатором. В этой же коробке подключается внешний кабель интерфейса RS-485 или, через конвертор, любого другого интерфейса.

Технические параметры датчика Smart-PD/2

Количество каналов регистрации ЧР	2
Диапазон частот, МГц	0,45 ÷ 1,50
Амплитуда импульсов ЧР, dBm	-5 ÷ -70
Напряжение питания датчика, В	220 AC/DC
Потребляемая мощность, Вт	10
Интерфейс связи с АСУ-ТП	RS-485
Размеры датчика, В*Ш*Г, мм	185*165*140

4. Оборудование для калибровки измерительных цепей

Проведение измерений частичных разрядов требует наличия у пользователя, кроме необходимого комплекса измерительных приборов и датчиков, дополнительного специализированного оборудования, необходимого 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 определяется теми целями и задачами, которые приходится решать каждому подготовленному специалисту, занимающемуся контролем технического состояния высоковольтной изоляции по уровню и распределению частичных разрядов.

4.1. Градуировка 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 не может быть метрологически поверено в классическом понимании этого процесса. Сделать это невозможно в связи с физическими особенностями проведения измерений частичных разрядов.

Основными причинами этого являются следующие:

- Частичные разряды от дефектов разного вида возникают в высоковольтной изоляции и характеризуются различными физическими параметрами. 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 даже 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 разными 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 в месте его 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 в 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 генераторами или калибраторами.

4.1.1. Градуировочный калибратор (генератор) марки GKI-1



Рис. 4.1.1.1. 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.

Переносной градуировочный калибратор марки GKI-1 непрерывно генерирует импульсы величиной 25 нКл отрицательной полярности, 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. Полная масса калибратора GKI-1 с двумя встроенными в корпус элементами питания размером AA не превышает 0,3 кг.

4.1.2. Градуировочный калибратор марки GKI-2



Рис. 4.1.2.1. Градуировочный калибратор марки GKI-2/

Переносной градуировочный калибратор марки GKI-2 непрерывно генерирует импульсы величиной 3000 пКл, при частоте следования 24 кГц.

Длительность самого импульса не превышает 30 нС при длительности переднего фронта импульса не более 10 нС. Амплитуда выходного импульса калибратора на стандартной нагрузке 50 Ом должна составлять от 12 до 14 В.

Пластиковый корпус переносного калибратора марки GKI-1 имеет небольшие габариты и вес. Использование аккумуляторного питания делает его удобным при проведении работ

по измерению частичных разрядов.

Основные технические параметры калибратора марки GKI-2:

Параметры генерируемых импульсов	
Инжектируемый заряд:	3000 пКл
Ширина импульса:	не более 30 нС
Фронт импульса, не более:	10 нС
Дисплей:	ЖКИ, 122×32 точки
Элементы питания:	Аккумуляторы тип AA
Потребление прибора, не более	30 мА
Габаритные размеры, мм, не более	140×65×25
Масса прибора, кг, не более	0,3

Калибратор GKI-2 внесен в Реестр средств измерения, номер 48363-11

4.1.3. Градуировочный калибратор марки GKI-3



Рис. 4.1.3.1. Градуировочный калибратор марки GKI-3

Градуировочный калибратор марки GKI-3 является универсальным устройством предназначен для решения двух задач:

- Диагностика 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.

- Калибровка входных 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.

4.1.4. Градуировочный калибратор марки GKI-4



Рис. 4.1.4.1.
Градуировочный
калибратор 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. Отличием калибратора GKI-4 является возможность ступенчатого регулирования заряда, инжектируемого в контролируемый высоковольтный объект.

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 имеет прочный металлический корпус, защищенные кнопки управления, благодаря чему может эксплуатироваться в самых сложных климатических условиях, работая в широком диапазоне температур окружающего воздуха, от

минус 20 до плюс 50 °С, сохраняя работоспособность при 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. Серия градуировочных калибраторов марки GKI



Рис. 4.1.5.1. Калибратор
из универсальной серии
GKI.

Практика разработки и практического использования градуировочных калибраторов для калибровки схем измерения частичных разрядов в высоковольтной изоляции показала, что создать один универсальный калибратор, который можно использовать для любого высоковольтного электротехнического оборудования, невозможно.

Реально диагност должен иметь в своем «арсенале» несколько различных генераторов, которыми он будет пользоваться для калибровки измерительных цепей при измерении частичных разрядов в изоляции различного высоковольтного оборудования.

Это объясняется несколькими причинами:

- Разным уровнем частичных разрядов, которые могут возникнуть в изоляции данного типа высоковольтного оборудования.

- В зависимости от параметров затухания высокочастотных импульсов в конкретном оборудовании формируются требования к фронтам калибровочных импульсов.

- Полная емкость контролируемого высоковольтного оборудования в значительной степени определяет длительность калибровочных импульсов, чем больше емкость оборудования, тем длиннее должны быть

калибровочные импульсы.

- Способ инжектирования импульсов, доступный для данного оборудования, может очень сильно влиять на параметры калибровочных импульсов, так как в определенных условиях возможно сильное затухание.

Калибраторы марки GKI имеют возможность ступенчатого регулирования уровня инжестируемого заряда, а также возможность выбора полярности импульса. Частота следования импульсов 300 Гц. В серию входят 4 калибратора, отличающиеся диапазоном инжестируемого заряда.

Основные технические параметры калибраторов марки GKI:

Генерация импульсов	
Частота следования импульсов:	300 Гц
Инжестируемый заряд:	
Версия 1-100 пКл	1; 3; 5; 10; 20; 50; 100 пКл
Версия 10-1000 пКл	10; 30; 50; 100; 200; 500; 1000 пКл
Версия 0,1-10 нКл	0,1; 0,3; 0,5; 1; 2; 5; 10 нКл
Версия 1-100 нКл	1; 3; 5; 10; 20; 50; 100 нКл
Передний фронт импульса по уровням 10% - 90% от максимальной амплитуды импульса, не более:	50 нс *
Длительность импульса по уровню 50% от максимальной амплитуды импульса, не более:	300 нс *
* - указанные значения действительны при активной нагрузке 50 Ом	
Питание	
Тип аккумулятора	Li-Ion
Емкость аккумулятора	3500 мАч
Физические данные	
Габаритные размеры, мм, не более	156×62×32
Масса прибора, кг, не более	0,4

4.1.6. Градуировочный калибратор марки GTI-5/UHF



Рис. 4.1.6.1. 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. 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 других типов.

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 градуировочного калибратора марки GTU-5/UHF приведены 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

4.1.7. Градуировочный калибратор марки GTI-R



Рис. 4.1.7.1. Калибровочный генератор GTI-R.

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.

В зависимости от типа контролируемого оборудования калибратор марки GTI-R 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 могут иметь различный частотный диапазон.

Основные технические параметры калибратора марки GTI-R:

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 GTI-R пользователь должен хорошо представлять, импульсы с какими параметрами необходимо применять при калибровке измерительных цепей в каждом конкретном случае.

5. Имитаторы тестовых сигналов и симуляторы дефектов в изоляции высоковольтного оборудования

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

Имитатор может формировать полный набор сигналов для системы мониторинга, моделирующий весь реальный объект, или же только те сигналы, которые нужны для моделирования отдельной функции с целью проверки функциональных возможностей диагностической подсистемы или всего 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 выходные сигналы имитатора. Эти сигналы 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 на их основе 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.

5.1. Имитаторы тестовых сигналов частичных разрядов

5.1.1. Имитатор тестовых сигналов марки ИТТ-1



Рис. 5.1.1.1. 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 является его компактность, прочность металлического корпуса, и использование автономного питания, что дает возможность проводить настройку и тестирование сложного диагностического оборудования непосредственно на месте установки.

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 наблюдается всегда и приводит недопустимым по точности 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, при необходимости, иметь возможность изменяться на определенную величину. Пользователь должен иметь возможность управлять параметрами векторов токов проводимости, для моделирования дефектов в контролируемых вводах.

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 добавлением 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.

5.1.2. 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. 5.1.2.1. 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, работа от внутреннего аккумулятора не предусмотрена.

При помощи имитатора 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 по параметрам 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.

5.1.3. Имитатор тестовых сигналов марки ИТТ-3



Рис. 5.1.3.1. 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 трансформаторного оборудования.

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.

5.2. 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 бывают трех типов:

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

• Программные симуляторы сигналов дефектов в изоляции (IDS). Такие устройства представляют собой интеллектуальные 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.

5.2.1. Симулятор дефектов в изоляции марки PD Simulator

Симулятор марки PD Simulator предназначен для моделирования 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.



Рис. 5.2.1.1. Симулятор дефектов в изоляции марки PD Simulator

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

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 моделируются шесть различных дефектов, возникающих в высоковольтной изоляции:

- 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 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.

5.2.2. Симулятор сигналов от дефектов марки IDS

Переносный прибор марки IDS (**I**nsulation **D**efect **S**imulator – симулятор сигналов

частичных разрядов от дефектов в изоляции) предназначен для проверки систем диагностики электротехнического оборудования по частичным разрядам. В отличие от прибора PD Simulator прибор марки IDS симулирует дефекты не на физическом уровне, а уже на уровне электрических импульсных сигналов, которые получаются с условного датчика частичных разрядов.

На физическом уровне симулятор IDS представляет собой 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, оценивать взаимное влияние процессов в одной фазе на другую.



Рис. 5.2.2.1. Симулятор частичных разрядов от дефектов в изоляции 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 работоспособность экспертных диагностических систем.

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 реальные замеры из общей базы данных iNVA, делая их тоже тестовыми.

С прибором IDS поставляется программа, имеющая наименование «Конфигуратор IDS», устанавливаемую на компьютере. Эта программа служит базой данных образов дефектов, и позволяет проводить дополнительную 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 любые другие. В одном сигнале могут быть симулированы несколько дефектов разного вида и интенсивности, что необходимо для углубленной проверки систем диагностики.

Прибор IDS 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 B.

5.2.3. 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 высоковольтных кабельных линий, включающих в себя несколько последовательно смонтированных соединительных муфт.

Симулятор SCL-500 физически 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 смоделировать длинную кабельную линию, состоящую из нескольких отдельных кабелей, соединенных муфтами.



Рис. 5.2.3.1. Симулятор длинной кабельной линии марки SCL-500 с соединительными муфтами

На полученном физическом макете длинной кабельной линии, максимальная длина которой может достигать 500 метров, можно производить проверку различных технических средств и методов диагностики дефектов. Можно проконтролировать затухание, отражение 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 может быть включен 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.

6. Дополнительные датчики для синхронизации измерений ЧР и контроля технологических параметров

Для нормальной работы систем мониторинга, проведения экспертной диагностики и оценки технического состояния высоковольтного оборудования, необходимо совместно с датчиками частичных разрядов и токов проводимости изоляции 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 удастся «с другой стороны» взглянуть на оценку текущего технического состояния контролируемого объекта, оценив другие аспекты нормального и дефектного состояний.

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

- Электрические параметры: напряжение, ток и мощность, потребляемые из сети. Они обычно определяют технологическую нагрузку контролируемого оборудования.
- Температурные параметры оборудования в различных режимах работы, параметры окружающей среды.
- Дополнительные информативные параметры состояния оборудования, например, вибрация корпусов и конструкций оборудования, параметры окружающей среды.
- Датчики синхронизации процессов измерений частичных разрядов с фазой питающего высоковольтного напряжения.
- Специализированные интеллектуальные датчики для контроля интегральных параметров высоковольтного оборудования.

В данном разделе описываются датчики технологических параметров, применяемые в системах мониторинга, производимые фирмой DIMRUS. Стандартные датчики электрических и вибрационных параметров нашей фирмы, как и датчики, производимые другими фирмами, здесь не описываются.

6.1. Датчики опорных сигналов для синхронизации измерения частичных разрядов 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 с приемлемой точностью 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.

6.1.1. Датчик опорного сигнала марки AR-1

Для синхронизации процесса регистрации частичных разрядов в изоляции с фазой



Рис. 6.1.1.1. Датчик опорного сигнала марки AR-1

питающего напряжения (приложенного к высоковольтному объекту) может быть использован специализированный датчик марки AR-1 с проводным интерфейсом связи.

Из входного напряжения, связанного с питающим напряжением, подаваемого на вход датчика, внутренней электронной схемой формируется синхронизирующий сигнал, который подается на специализированный вход прибора, при помощи которого производится регистрация частичных разрядов в высоковольтной изоляции.

Датчик AR-1 имеет широкий диапазон входных напряжений: от 5 до 300 вольт. Для удобства пользования датчик имеет встроенное аккумуляторное питание и гальваническую изоляцию входных и выходных цепей.

6.1.2. Датчик опорного сигнала марки PFR-2 с передачей импульсов синхронизации по радиоканалу



Рис. 6.1.2.1. Датчик опорного сигнала PFR-2, передающий импульс по радиоканалу.

В тех случаях, когда возможность непосредственного подключения измерительного прибора к опорному напряжению физически отсутствует, что чаще всего бывает при использовании переносных приборов измерения частичных разрядов, применяется процесс синхронизации измерений с фазой питающего напряжения при помощи устройства марки PFR-2, использующего для передачи синхронизирующего импульса радиоканал.

Этот прибор подключается к опорному напряжению промышленной частоты и посылает синхронизирующие метки (момента перехода синусоиды питающей сети через ноль из отрицательной полуволны в положительную) по радиоканалу. Максимальная

дальность посылки синхронизирующего импульса в измерительный прибор – до 100 метров.

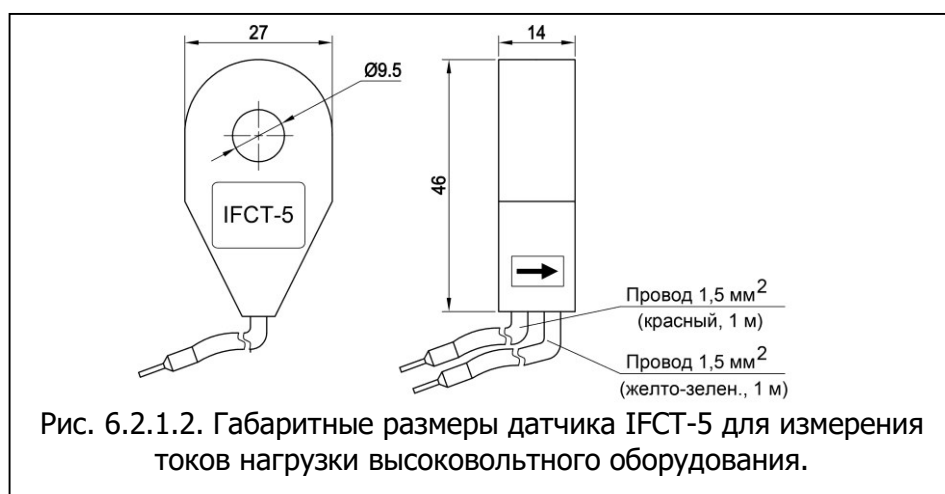
PFR-2 включается в розетку при помощи стандартной вилки на корпусе.

6.2. Датчики контроля технологических параметров 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 контролируемого оборудования. Кроме того, при помощи этих дополнительных параметров всего удастся «с другой стороны», более полно, провести оценку текущего технического состояния контролируемого объекта, оценив характерные признаки и другие аспекты нормального и дефектного состояния.

6.2.1. Датчик IFCT-5 для контроля токов нагрузки оборудования



Для измерения токов нагрузки высоковольтного оборудования применяется датчики тока марки IFCT-5. В корпусе датчика располагается повышающий трансформатор с сердечником из аморфного ферромагнитного материала.

Датчики тока IFCT-5 одеваются на провод вторичной цепи измерительных трансформаторов, контролирующих токи нагрузки высоковольтного оборудования. При таком подключении полностью исключается влияние датчика IFCT-5 на уже существующие измерительные цепи, точность работы которых не нарушается.

Основные технические данные датчика IFCT-5.

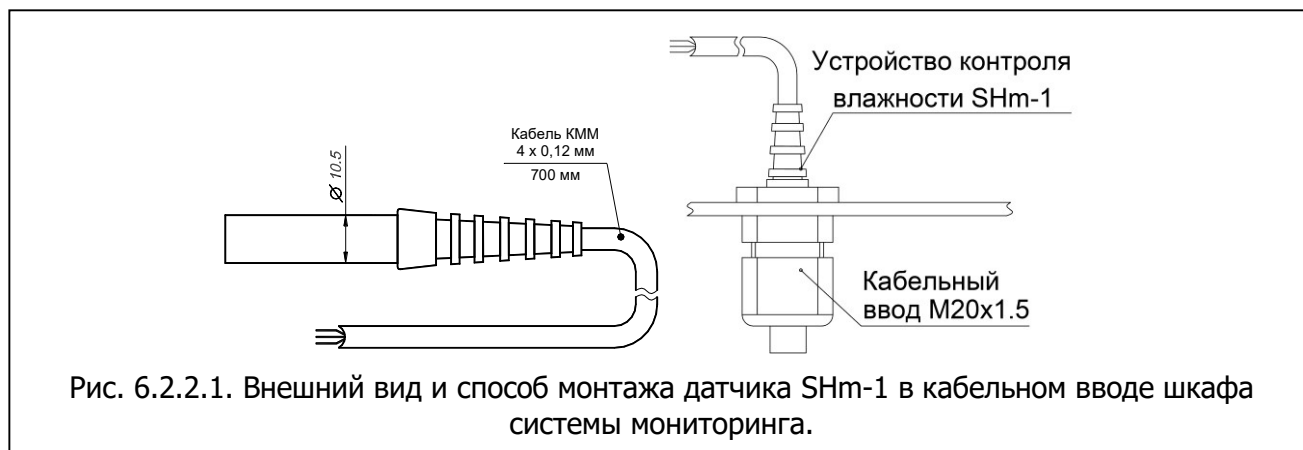
Диапазон рабочих температур	от -60 до + 50°C
Степень защиты от внешних воздействий	IP65
Измеряемый ток	до 5А
Коэффициент трансформации	1000:1

6.2.2. Датчик марки SHm-1 для контроля влажности окружающей среды

Устройство контроля влажности SHm-1 (датчик) предназначено для измерения относительной влажности окружающей среды. Использовать такой датчик приходится в том случае, когда влажность воздуха влияет на техническое состояние оборудования, например, при контроле частичных разрядов во вводах силовых трансформаторов.

Основные технические характеристики устройства SHm-1 приведены в таблице.

№	Наименование параметра	Значение
1	Напряжение питания, В	5 В ± 5%
2	Ток потребления, не более, mA	>1
3	Диапазон измерения влажности (RH)*, %	0 – 100
4	Смещение нуля (Uof), В	0,958
5	Чувствительность (K), mV/ %RH	30,68
6	Масса устройства контроля	0,5 кг
7	Габаритные размеры устройства контроля	70 мм, Ø10,5 мм



Обычно датчик SHm-1 устанавливается в кабельном вводе шкафа системы мониторинга так, чтобы чувствительный элемент находился снаружи шкафа. В этом случае упрощается подключение датчика, и он более надежен в эксплуатации.

6.2.3. Датчик марки ТНМ-1 для контроля влагосодержания в масле бака трансформатора



Измерительный датчик марки ТНМ-1 предназначен для контроля влагосодержания в масле бака силовых трансформаторов. Датчик является комплексным и измеряет три параметра: температуру масла, влагосодержание (ppm) и активность воды в масле (aw).

Датчик контроля влагосодержания в масле ТНМ-1 может монтироваться как прямо на баке трансформатора, так и с использованием дополнительных устройств.

Если на трансформаторе уже смонтирована система контроля растворенных газов, то датчики могут монтироваться непосредственно в них или в масляных магистралях.

Выходным интерфейсом связи датчика ТНМ-1 является стандартный RS-485. По одному кабелю типа «витая пара» в датчик подается питание 9÷36В (DC) и осуществляется обмен информацией.

Существуют два варианта отображения и анализа информации о измеренных параметрах влагосодержания:

- С передачей в систему АСУ-ТП,
- С использованием показывающего прибора марки ТНМ-1М. Питание датчика в этом случае осуществляется от этого же прибора.

Возможны несколько вариантов монтажа датчиков влагосодержания ТНМ-1 на баке трансформатора:

- Непосредственный монтаж на стенке бака на резьбовом посадочном месте, это самый простой способ. Недостатком такого монтажа является сложность замены датчика в процессе эксплуатации.

- Монтаж с использованием переходного крана. На стенке бака монтируется шаровой кран с переходной трубкой, в которую вкручивается датчик. В этой конструкции необходимо предусмотреть возможность выпуска газа из переходной трубки. Наличие переходного объема между баком и датчиком незначительно, не более чем на



10%, влияет на скорость реакции датчика.

- Монтаж с использованием герметизирующего узла, при котором модифицированная измерительная часть датчика вводится внутрь бака. Для этого применяется специальная версия датчиков с удлиненной трубкой, в которой находятся сенсоры и другим корпусом для электроники.

6.2.4. Датчик марки ТНМ-2 для контроля влагосодержания в масле бака и в твердой изоляции обмоток трансформатора



Рис. 6.2.4.1. Датчик ТНМ-2 для контроля влагосодержания в масле бака и в твердой изоляции трансформатора.

Стационарный комплексный датчик марки ТНМ-2 предназначен для контроля влагосодержания в масле и в твердой изоляции трансформатора. Дополнительно к параметрам, измеряемым датчиком ТНМ-1, этот датчик контролирует влагосодержание в твердой изоляции обмоток трансформатора и активность воды в твердой изоляции.

Если на баке трансформатора смонтирован комплексный датчик влагосодержания в масле и в твердой изоляции марки ТНМ-2, работающий в режиме непрерывного мониторинга, то с его помощью можно оперативно и однозначно разделять процесс насыщения обмоток влагой и

процесс удаления влаги из обмоток в осушители.

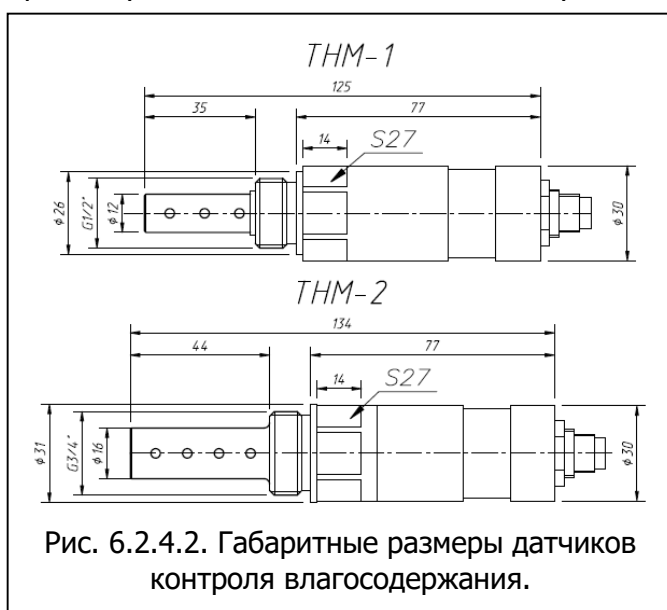


Рис. 6.2.4.2. Габаритные размеры датчиков контроля влагосодержания.

При использовании дополнительных «внешних» установок, предназначенных для осушения масла в баке, контроль за переносом влаги усложняется тем, что датчики влагосодержания в масле и в твердой изоляции имеют различные постоянные времени.

Если выходное значение датчика влагосодержания в масле устанавливается за десятки минут, максимум до одного часа, то выходное значение датчика контроля влагосодержания в твердой изоляции стабилизируется во времени на несколько порядков медленнее, и этот интервал времени составляет от недель до месяца.

Тем не менее, и в этом случае использование датчика ТНМ-2 имеет

практическое значение, так как показывает, хоть и со значительной задержкой по времени, качественное и обобщенное направление процесса переноса влаги в баке трансформатора.

Габаритные и установочные размеры датчиков влагосодержания приведены на рисунке. Основное различие заключается в размере посадочной резьбы: $\frac{1}{2}$ \" для ТНМ-1 и $\frac{3}{4}$ \" для ТНМ-2 и в размерах (диаметре) отсека сенсоров.

Технические параметры ТНМ-1 и ТНМ-2:

Параметр	Значение
Рабочая температура, град	-40 ÷ +80
Напряжение питания, В, DC	9 ÷ 36
Корпус/степень защиты IP65	нерж. сталь
Допустимое давление, бар	до 20
Напряжение питания, В, DC	9 ÷ 36

Масса прибора, кг

0,3

6.3. Беспроводные датчики контроля технологических параметров

В связи с развитием беспроводных каналов передачи информации все большее применение находят беспроводные датчики контроля технологических параметров высоковольтного оборудования.

6.3.1. Беспроводной датчик марки BDM-T для контроля температуры токоведущих частей, шин, проводов ЛЭП.

Беспроводной датчик марки BDM/T предназначен для оперативного контроля температуры токопроводов, шин КРУ, контактов выключателей, проводов ЛЭП, находящихся под рабочим напряжением.



Рис. 6.3.1.1. Беспроводной датчик BDM/T для контроля температуры высоковольтного оборудования.

Датчик марки BDM/T монтируется непосредственно на токоведущих частях высоковольтного оборудования и измеряет температуру в месте установки при помощи встроенного интегрального датчика. Результаты измерений температуры по стандартному беспроводному интерфейсу Bluetooth BLE передаются на расстояние до 100 метров.

Для приема информации о температуре объекта контроля можно специализированный приемник интерфейса Bluetooth, или смартфон, ноутбук, планшет, на котором необходимо установить соответствующее программное

обеспечение производства фирмы ДИМПУС.

Питание датчика BDM/T осуществляется от переменного тока промышленной частоты,



Рис. 6.3.1.2. Крепление датчика BDM/T на медной шине КРУ и на проводе ЛЭП.

протекающего в токоведущей шине, температуру которой измеряет датчик, и на которой он смонтирован.

При появлении переменного тока в шине или проводнике датчик BDM/T автоматически начинает работать: измерять температуру и посылать информацию по беспроводному интерфейсу.

Пример крепления датчика на шине КРУ и на проводах ЛЭП для контроля температуры проводов при плавке гололеда показано на рисунке 6.3.1.2.

В состав поставки системы беспроводного температурного мониторинга на основе датчиков BDM/T входят следующие позиции:

- Комплект беспроводных датчиков марки BDM/T для измерения температуры, с монтажными комплектами.

- Приемники беспроводной информации марки WDM, WDM-T или WDM-TI. Выбор оптимальной марки приемника производится в соответствии с требованиями технического задания с учетом конструктивных особенностей оборудования.

- Пуско-наладочное устройство марки BDM/Tester, предназначенное для проверки и предварительной (до монтажа) привязки датчиков температуры BDM/T к объекту контроля, 1 стенд на поставку.

Технические параметры датчика BDM/T.

Контролируемая температура, град	-40÷+125
Точность измерения температуры, град	±1
Диапазон рабочих токов, А	от 5 до 2000
Расстояние передачи информации, м	до 100

Размеры датчика, мм	27*38*52
Вес датчика, не более, кг	0,1

6.3.2. Датчики марки BDM/TV для контроля температуры и вибрации обмоток высоковольтного оборудования

Для измерения температуры и вибрации (лобовых частей) обмоток высоковольтного оборудования, а такая задача возникает при организации диагностического мониторинга высоковольтных электрических электродвигателей и генераторов, можно использовать беспроводные датчики температуры марки BDM/TV.



Рис. 6.3.2.1. Беспроводной датчик BDM/TV для контроля температуры и вибрации токоведущих частей высоковольтного оборудования

Эти комбинированные датчики имеют три отличия от датчиков BDM/T:

- Датчик BDM/TV наряду с измерением температуры может, при помощи встроенного трех координатного датчика, дополнительно измерять вибрацию лобовых частей обмоток генераторов.

- В отличие от датчиков BDM/T датчики BDM/TV имеют полностью изолированный корпус. Металлическое основание датчиков в целях безопасности заменено на изоляционное.

- В датчик BDM/TV добавлен датчик для измерения тока в контролируемой секции (работающий на основе эффекта Холла), благодаря которому сигналы от нескольких датчиков вибрации можно синхронизировать и осуществлять пространственный анализ колебаний лобовых частей обмоток.

Частотный диапазон и максимальная амплитуда вибрационных сигналов, регистрируемых датчиков, могут варьироваться и уточняются на этапе заказа датчиков.

Эти же датчики можно использовать для контроля вибрации обмоток силовых трансформаторов и регистрации температуры наиболее нагретой точки обмотки. Датчики монтируются внутри бака трансформатора, а приемная антенна устанавливается рядом с высоковольтными вводами трансформатора.

6.3.3. BDM-Tester - стенд проверки и настройки беспроводных датчиков температуры

Перед установкой беспроводного датчика марки BDM/T на место эксплуатации его необходимо проверить и при помощи встроенной программы «привязать» к выбранной технологической точке контролируемого оборудования. Наиболее удобно это делать при помощи переносного стенда марки BDM-Tester.



Рис. 6.3.3.1. Испытательный стенд марки BDM-Tester для настройки беспроводных датчиков температуры

Тестируемый датчик устанавливается на специальном посадочном месте на лицевой панели стенда, которое имеет фиксированную температуру. Через отверстие в корпусе датчика монтируется ферромагнитный сердечник. Для удобства проведения тестирования сам датчик фиксируется на токоведущей шине двумя пружинными зажимами.

При включении стенда BDM-Tester в работу через внутреннюю токоведущую шину стенда пропускается ток выбранной величины, включается внутренняя электроника и датчик начинает работать. В этом режиме проверяется работоспособность датчика и в его внутренней памяти прошиваются необходимые технологические параметры.

Краткая информация о фирме:

ООО «Димрус»
Россия, 614000, г. Пермь,
Пермский район, д. Ванюки,
улица Шоссейный въезд, 2
Факс: +7(342) 212-84-74
Тел.: +7(342) 212-23-18
+7(342) 212-88-05
WEB: dimrus.ru
dimrus@dimrus.ru