



Измерение частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ЧАСТИЧНЫЕ РАЗРЯДЫ В ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ИЗОЛЯЦИИ, СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ И АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ	10
1.1. Параметры частичных разрядов.....	10
1.1.1. Расчетные и нормируемые параметры частичных разрядов.....	12
1.1.2. Частотный диапазон измерительной аппаратуры.....	23
1.2. Связь параметров импульсов частичных разрядов с конструктивными особенностями оборудования	37
1.2.1. Влияние зоны возникновения дефекта в изоляции на параметры частичных разрядов.	38
1.2.2. Связь конструктивных особенностей оборудования с распределением импульсов частичных разрядов.....	44
1.3. Высокочастотные помехи, влияющие на измерение частичных разрядов в высоковольтном оборудовании	46
1.3.1. Общая классификация высокочастотных помех.....	47
1.3.2. Коронный разряд – основная высокочастотная помеха при рабочих напряжениях больше 110 кВ.	49
1.3.3. Высокочастотные помехи, проникающие в оборудование извне.....	51
1.4. Аппаратные методы и средства отстройки от воздействия высокочастотных помех.....	53
1.4.1. Сравнение импульсов частичных разрядов по амплитуде.....	55
1.4.2. Отстройка от помех при помощи контроля времени прихода импульсов по двум и более каналам.....	60
1.4.3. Анализ полярности импульсов частичных разрядов, зарегистрированных несколькими датчиками.....	63

Данная работа написана по результатам исследовательских, опытно-конструкторских, производственных и внедренческих работ, выполненных сотрудниками фирмы «DIMRUS» в России и за рубежом. Целью написания работы является желание автора популяризировать современный метод диагностики состояния высоковольтной изоляции, основанный на измерении и анализе частичных разрядов.

Очевидно, что одно это методическое описание не решает всех проблем, связанных с практической реализацией метода контроля частичных разрядов в изоляции, тем более что его комплексное описание в литературе практически отсутствует.

Для практических специалистов необходимо осветить в литературе три основных вопроса, касающихся данного метода. Это, во-первых, теоретическое описание причин и особенностей возникновения частичных разрядов в изоляции различного типа. Во-вторых, это описание методов, средств и особенностей регистрации частичных разрядов в различных типах высоковольтного оборудования. В-третьих, это сама процедура диагностики, дополненная алгоритмами оценки текущего технического состояния изоляции.

Данная работа более или менее подробно описывает процедуру регистрации частичных разрядов, а также касается некоторых вопросов диагностики дефектов в изоляции. Для получения недостающей информации по первому и третьему вопросам читателю придется обратиться к другим литературным источникам.

1.5. Аналитические и графо-аналитические способы отстройки от помех и определения типа дефектов	67
1.5.1. Стандартные графические представления распределения частичных разрядов.....	69
1.5.2. Время-частотное распределение импульсов частичных разрядов в изоляции – TFM.....	73
1.5.3. Амплитудно-фазо-частотное распределение импульсов – PRPD.....	77
2. ДИАГНОСТИКА ДЕФЕКТОВ В ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ТЕХНИЧЕСКИЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА.....	80
2.1. Обеспечение корректного измерения частичных разрядов в изоляции оборудования	80
2.1.1. Выбор конфигурации схемы измерения частичных разрядов.....	81
2.1.2. Метрологическое обеспечение процедуры измерения и анализа распределения частичных разрядов.....	89
2.1.3. Влияние параметров калибровочного импульса на результаты измерения частичных разрядов.....	92
2.1.4. Синхронизация измерений частичных разрядов относительно синусоиды питающего напряжения.....	98
2.2. Диагностика дефектов в изоляции на основании анализа уровня и распределения частичных разрядов	101
2.2.1. Анализ частотных и временных параметров импульсов частичных разрядов.	102
2.2.2. «PD-Expert» – пример автоматизированной экспертизы системы диагностирования дефектов в изоляции по частичным разрядам.....	110
2.3. Результаты практического моделирования и диагностирования дефектов в высоковольтной изоляции	119
2.3.1. Дефект № 1. Частичный разряд между двумя слоями высоковольтной изоляции, «внутренний разряд».....	120

2.3.2. Дефект № 2. Частичный разряд между проводником, находящимся под «плавающим потенциалом».....	122
2.3.3. Дефект № 3. «Поверхностный разряд с земляного электрода».....	124
2.3.4. Дефект № 4. «Поверхностный разряд с высоковольтного электрода».....	126
2.3.5. Дефект № 5. «Корона с высоковольтного электрода».....	128
2.3.6. Дефект № 6. «Корона с земляного электрода»....	131
2.4. Практическое сравнение чувствительности приборов измерения частичных разрядов, работающих в разных диапазонах частот.....	132
3. ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ИЗОЛЯЦИИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	141
3.1. Измерение частичных разрядов при помощи электромагнитных контактных датчиков.....	143
3.1.1. Установка «HF»-датчиков частичных разрядов на трансформаторах	145
3.1.2. Способы отстройки от влияния коронных разрядов при регистрации частичных разрядов в трансформаторах.....	157
3.1.3. Измерение частичных разрядов в изоляции трансформаторов понижающих подстанций в режиме «on-line».....	174
3.1.4. Измерение частичных разрядов в изоляции трансформаторов передающих подстанций.....	183
3.1.5. Измерение частичных разрядов в силовых трансформаторах с использованием источника испытательного напряжения.....	187
3.1.6. Измерение частичных разрядов в изоляции измерительных трансформаторов тока.	189
3.1.7. Калибровка схем измерения частичных разрядов в трансформаторах, использующих датчики типа «C-Sensors».....	192
3.2. Измерение частичных разрядов в трансформаторном оборудовании при помощи акустических датчиков....	196
3.2.1. Регистрация акустических частичных разрядов при помощи переносного одноканального прибора.....	199

3.2.2. Локация места возникновения разрядов.....	202	5. ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ИЗОЛЯЦИИ КОММУТАЦИОННОГО И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, КРУЭ И КРУ.....	254
3.2.3. Мониторинг частичных разрядов при помощи акустических датчиков.....	207		
3.3. Контроль частичных разрядов в изоляции трансформаторов при помощи датчиков электромагнитного поля.....	208	5.1. Измерение частичных разрядов в элегазовом оборудовании при помощи акустических датчиков.....	255
3.3.1. Измерение частичных разрядов в UHF-диапазоне частот при помощи переносных одноканальных приборов.....	209	5.2. Измерение частичных разрядов в элегазовом оборудовании при помощи емкостных датчиков и UHF-антенн.....	259
3.3.2. Измерение частичных разрядов в трансформаторах, проводимое в UHF-диапазоне частот при помощи стационарных датчиков.....	215	5.2.1. Датчики для регистрации импульсов частичных разрядов в элегазовом оборудовании, работающие в UHF-диапазоне частот.....	259
3.3.3. Использование радиочастотного метода для локализации мест возникновения дефектов в UHF-диапазоне частот.....	218	5.2.2. Измерение частичных разрядов при помощи переносных приборов.....	264
4. ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЯХ И ГЕНЕРАТОРАХ.....	221	5.2.3. Системы мониторинга состояния изоляции элегазового оборудования, работающие в UHF-диапазоне частот.....	266
4.1. Датчики для измерения частичных разрядов в обмотке статора электрических машин.....	224	5.3. Комплексный подход к мониторингу частичных разрядов в КРУ и отходящих кабельных линиях	273
4.1.1. Конденсаторы связи для подключения к входным зажимам обмотки статора электрической машины.....	225	5.3.1. Система мониторинга изоляции КРУ, кабельных линий и высоковольтных потребителей на основе интеллектуального реле «IDR-10».....	274
4.1.2. Датчики частичных разрядов для монтажа в пазу статора.....	232	5.3.2. «SG-DM» – комплексная система мониторинга и диагностики изоляции КРУ.....	277
4.1.3. Дополнительные датчики, используемые для измерения частичных разрядов в электрических машинах.....	234		
4.2. Схемы измерения частичных разрядов в электрических машинах в режиме «off-line»	236	6. ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ.....	280
4.3. Измерение частичных разрядов в обмотке статора электрических машин в режиме мониторинга	242	6.1. Установка первичных датчиков контроля частичных разрядов в кабельных линиях	280
4.4. Калибровка схем измерения частичных разрядов в электрических машинах.....	251	6.1.1. Установка датчиков частичных разрядов в цепи заземления экрана.....	281

6.2. Схемы измерения частичных разрядов в кабельных линиях в режиме «off-line»	295
6.3. Схемы измерения частичных разрядов в кабельных линиях в режиме мониторинга.....	301
6.3.1. Измерение частичных разрядов в кабельных линиях в режиме мониторинга.	301
6.3.2. Измерение частичных разрядов в «крайних» кабельных линиях.	304
6.3.3. Использование систем мониторинга для локализации места возникновения дефектов в изоляции кабельных линий.....	308
6.3.4. Конфигурация системы мониторинга кабельной линии небольшой длины.	312
6.3.5. Конфигурация системы мониторинга изоляции длинной высоковольтной кабельной линии.....	314
6.3.6. Использование систем мониторинга для контроля состояния соединительных муфт кабельной линии.....	316
6.4. Калибровка схем измерения частичных разрядов	318
7. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОДВЕСНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ПО РАЗРЯДНЫМ ПРОЦЕССАМ, КОНТРОЛЬ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ЛЭП	320
7.1. Датчики для контроля разрядных процессов в воздушных линиях	322
7.1.1. Установка конденсаторов связи на воздушных линиях.	322
7.1.2. Использование в качестве датчиков разрядных процессов в ЛЭП высоковольтных вводов трансформаторов и выключателей.....	325
7.1.3. Использование электромагнитных датчиков – антенн для контроля частичных разрядов в воздушных линиях.	327
7.1.4. Локация мест возникновения дефектов в подвесной изоляции ЛЭП.	329
7.2. Мониторинг состояния подвесной изоляции воздушной линии на основании регистрации и анализа разрядных процессов.....	334
7.3. Регистрация импульсных и грозовых перенапряжений в линиях.	340
Контроль мест коротких замыканий и обрывов	340
7.4. Калибровка измерительных цепей перед регистрацией разрядных процессов в воздушных линиях	343
8. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА РЕГИСТРАЦИИ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ВЫСОКОВОЛЬТНОМ ОБОРУДОВАНИИ	344
8.1. Датчики регистрации частичных разрядов для контроля состояния высоковольтной изоляции	344
8.1.1. Датчики частичных разрядов марки «RFCT»....	344
8.1.2. Высокочастотные конденсаторы связи марки «СС».	354
8.1.3. Датчики для синхронизации процесса измерений частичных разрядов с питающим напряжением.	356
8.1.4. Датчики марки «DB-2» для контроля токов проводимости вводов и частичных разрядов во вводах и в силовых трансформаторах.....	359
8.2. Переносные приборы регистрации частичных разрядов.....	360
8.3. Краткий обзор систем непрерывного мониторинга частичных разрядов в изоляции	362
8.4. Технические средства калибровки измерительных схем	362
8.4.1. Калибровочный генератор «GKI-1».....	364
8.4.2. Калибровочный генератор «GKI-2».	365
8.4.3 Калибровочный генератор «GKI-3».....	366
8.4.4. Калибровочный генератор «GKI-4»	367