

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

**ДЬЯЧКОВ АЛЕКСАНДР ВИКТОРОВИЧ**  
**РАЗАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ**  
**ПАРАМЕТРОВ ИЗОЛЯЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**  
**СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Направление 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»  
Профиль «Электроснабжение»

АВТОРЕФЕРАТ  
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Середнева  
Татьяна Ивановна  
**Проверено**  
20.06.2018 Зачтено Библиотека

Комсомольск – на – Амуре

2018

Работа выполнена на кафедре «Электромеханика» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (КНАГУ).

Научный руководитель

доктор тех. наук, профессор  
Иванов Сергей Николаевич

Рецензент

директор учебнопроизводственного  
центра КГА ПОУ «Губернаторский  
авиастроительный колледж  
г. Комсомольска-на-Амуре  
(Межрегиональный центр компетенций)»  
Киница Олег Игоревич,

Защита состоится «20» июня 2018 года в 09 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681913, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 203/3.

Автореферат разослан \_\_ июня 2018 г

Секретарь ГЭК

Н.Н. Мельникова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Надежность систем передачи и распределения электрической энергии непосредственно зависит от состояния ее структурно-интегрированных элементов, к которым в первую очередь относятся статические преобразователи электромагнитного типа – силовые высоковольтные трансформаторы подстанций. Маслонаполненные трансформаторы высокого класса напряжения являются важнейшей частью рассматриваемой системы генерации и характеризуются высокой сложностью конструкции, включающей в себя систему изоляционных элементов. С ростом удельных мощностей, обусловленных сложившейся устойчивой тенденцией развития систем электроснабжения, требования к показателям безотказности систем изоляции трансформаторного оборудования постоянно возрастают. Использование новых изоляционных материалов в определенной степени позволяет улучшить технические характеристики, определяющие их долговечность и работоспособность, но в целом эта задача остается чрезвычайно актуальной.

**Степень разработанности.** В процессе работы над диссертацией был проведен обзор существующих систем диагностики изоляционных конструкций высоковольтного оборудования методом частичных разрядов, а также разработана система диагностики для маслаполненных трансформаторов.

**Объектом исследования** является изоляционная конструкция высоковольтного трансформатора.

**Целью и задачей исследования** является разработка системы спектрального анализа поляризованной токовой структуры, возникающей в составе изоляционных промежутков оборудования с масляным жидким диэлектриком, позволяющей на этой основе синтезировать эффективную систему диагностики состояния данного рода оборудования, а так же напря-

мую внедренной в технологический процесс эксплуатации, обслуживания и обеспечения надлежащей степени надежности электроснабжения при минимальных эксплуатационных затратах..

**Личный вклад.** Был проведен обзор на современные системы диагностики высоковольтного оборудования методом частичных разрядов. Разработана система дистанционного мониторинга и контроля параметров изоляционных конструкций систем электроснабжения.

#### **Апробация работы.**

Результаты исследований, включённые в работу, докладывались на 47-й научно-технической конференции студентов и аспирантов (г. Комсомольск-на-Амуре, 2017 г.) и на 48-й научно-технической конференции студентов и аспирантов (г. Комсомольск-на-Амуре, 2018 г.).

**Публикации.** По результатам исследований имеются четыре публикации:

1 Дьячков, А. В. Диагностика изоляционных систем силовых трансформаторов / А. В. Дьячков, С. Н. Иванов // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов: материалы 47-й научно-технической конференции студентов и аспирантов (59-61 стр.), Комсомольск-на-Амуре, 10-21 апреля 2017 г. / редкол.: Э.А. Дмитриева (отв. Ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГТУ», 2017. – 345 с.

2 Дьячков, А. В. Анализ направлений развития систем электроснабжения / Д. И. Афанасьев, А. В. Дьячков, И. В. Санников // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2017. – № IV - 1(32). – С. 4-10.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Содержит 95 страниц основного машинописного текста, 45 рисунка и 1 приложения. Библиографический список включает 34 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** раскрыта актуальность темы диссертации, обозначена цель и сформулированы задачи исследования.

**В первой главе** раскрываются основное состояние проблемы надежности передачи электрической энергии. Рассматриваются общие сведения о частичных разрядах, процессы протекающие в изоляционных конструкциях высоковольтного оборудования, а так же раскрывается понятие остаточного ресурса силового электроэнергетического оборудования.

**Во второй главе** приводится краткое описание существующих систем диагностики изоляции высоковольтного оборудования. Представлена структура схемы измерения характеристик частичных разрядов. В свою очередь эта структура состоит из:

- устройство присоединения (УП);
- измеритель частичных разрядов (ИЧР);
- периферийные устройства (П);

Система измерения (рисунок 1) применяется для контроля качества изоляции при изготовлении на предприятии, так же при диагностике высоковольтного оборудования в процессе эксплуатации или является лишь частью системы диагностирования, которая работает в режиме мониторинга, находясь под рабочим напряжением. Все это складывается из цели измерения частичных разрядов, та же в свою очередь может заключаться как для определения разового пикового значения кажущегося заряда, так и для анализа группы характеристик частичных разрядов.

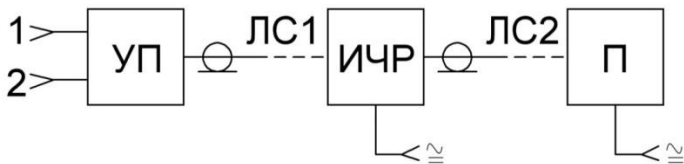


Рисунок 1 – Структурная схема измерения характеристик ЧР

**В третьей главе** представлена разработка системы диагностики изоляционных конструкций высоковольтного оборудования по средствам ЧР. Производится выбор оборудования и краткое описание блоков схемы.

Для оценки состояния силового трансформатора установлены контролируемые параметры, к которым относятся:

- частичный разряд, представляющий локальный электрический разряд, перекрывающий часть изоляции электроизоляционной системы и измеряемый на частотах в полосе пропускания при амплитуде не меньшей 6 дБ относительно входного синусоидального сигнала;

- кажущийся заряд, соответствующий частичному заряду с одинаковым изменением напряжения;

- фазный угол (место локализации разряда на периоде переменного напряжения) и временной интервал появления импульса частичного разряда, определяемый длительностью перехода положительной полуволны переменного напряжения, отсчитываемой от нуля до импульса разряда;

- время регистрации импульсов, определяемое при одинаковой полярности, форме и величине заряда (расхождение амплитудных значений сигналов не более 10 %).



Рисунок 2 – Структурная схема системы мониторинга изоляционных конструкций

Структурная схема состоит измерителя ЧР (ИЧР) которое служит для преобразования входных сигналов тока импульсов ЧР в сигналы напряжения и последующего их измерения.

В свою очередь ИЧР состоит и устройства присоединения (УП) и измерителя ЧР (см. рисунок 3). УП представляет собой датчик который подключается непосредственно к объекту измерения (ОИ), который улавливает импульсы ЧР. В качестве датчиков ЧР применяются высокочастотные трансформаторы тока типа МСТ 100 (OMICRON), серия RFCT (ООО «Димрус»), серия ДЧР (ООО «Промышленные системы»), конденсаторы связи МСС 112 (OMICRON), а также подобные вышеперечисленным.



Рисунок 3 – Структурная схема ИЧР

**В четвертой главе** производится выбор оборудования и краткое описание блоков схемы.

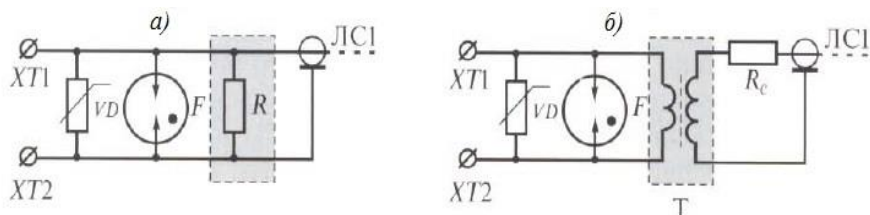
Устройство присоединения УП служит для преобразования входных сигналов тока импульсов ЧР в сигналы напряжения и последующего их измерения.

УП является неотъемлемой частью измерительной системы и при

подключении к объекту испытания ОИ — неотъемлемой частью испытательной схемы.

УП по признаку присоединения к ОИ можно разделить на два типа:

- УП, подключаемые к низковольтным частям ОИ;
- УП, подключаемые к тем частям ОИ, на которых присутствует рабочее напряжение или на которых в отдельных режимах работы ОИ может возникнуть высокое напряжение, например, при перенапряжении и коротких замыканиях.



$VD$  — варистор;  $F$  - искровой разрядник;  $R$  — измерительный элемент, резистор;

$R_c$  — согласующее сопротивление;  $T$  — измерительный элемент, трансформатор высокочастотный (импульсный);  $AT_1, AT_2$  — разъемы входной цепи.

Рисунок 4 - Электрическая схема устройства УП, подключаемого к вольтным частям объекта испытания ОИ с измерительными элементами различного типа.

Для того чтобы получить полное представление о процессе ЧР. требуется измерение нескольких характеристик ЧР и знание параметров условий измерения:

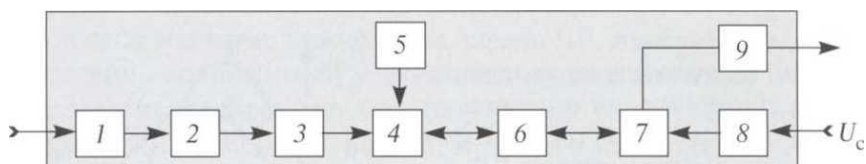
- кажущийся заряд каждого импульса ЧР  $q$ ;
- время (фаза) возникновения,  $t_i(\varphi_i)$ , каждого импульса ЧР в периоде воздействующего па изоляцию напряжения;



— число периодов воздействующего напряжения при измерении ЧР.

Измерение кажущегося заряда и времени (фазы) возникновения импульса ЧР позволяет определить расчетным путем все остальные характеристики ЧР.

Регистрация характеристик ЧР эффективна при использовании измерителя на базе компьютера, у которого процессор обеспечивает управление измерением, хранение результатов, обработку и передачу данных.



$U_n$  — измеряемый сигнал УП; 1 — устройство защиты; 2 — устройство гальванической развязки; 3 — устройство фильтрации; 4 — пиковый детектор; 5 — генератор тактовых сигналов; 6 — устройство выборки и хранения; 7 — АЦП с микропроцессором, узлом флэш-памяти и устройством цифрового ввода/вывода; 8 — устройство синхронизации; 9 — RS485;  $U_c$  — напряжение синхронизации.

Рисунок 5 - Структурная схема измерителя кажущегося заряда

В качестве линии связи УП с ИЧР используются следующие виды каналов связи:

— проводной канал, преимущественно в виде либо коаксиального высокочастотного, либо экранированного кабеля с витой парой;

— оптический направляющий канал в виде волоконно-оптической линии связи;

— радиоканал связи в виде передатчика и приемника электромагнитных сигналов.

Каждый из этих видов каналов связи обладает преимуществами и

недостатками (табл. 1).

Таблица 1 – Преимущества и недостатки видов связи

Вид канала связи	Преимущества	Недостатки
Проводной	Дешевизна, визуализация соединений, простота диагностики соединений	Влияние электромагнитных наводок, ограниченность в протяженности
Оптический направляющий	Отсутствие сетевых и электромагнитных наводок	Стоимость, потребность в активных блоках присоединения
Радиоканал	Отсутствие сетевых наводок, разветвленная сеть связи	Влияние электромагнитных наводок, потребность в активных блоках присоединения

Усилитель заряда формирует выходное напряжение, пропорциональное изменениям заряда, находящегося на приборе, который подключается к входу усилителя. Выход усилителя заряда подключаем к аналого-цифровому преобразователю для оцифровки выходного напряжения.

В структуру измерительного канала, включаем усилитель заряда, дополнительный усилитель напряжения и аналого-цифровой преобразователь, изображенные на рисунке 6.

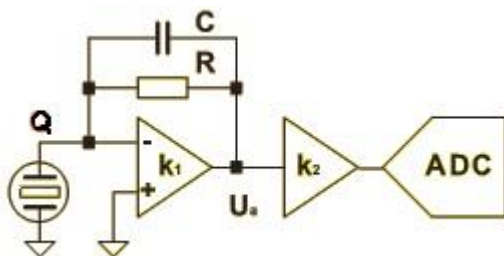
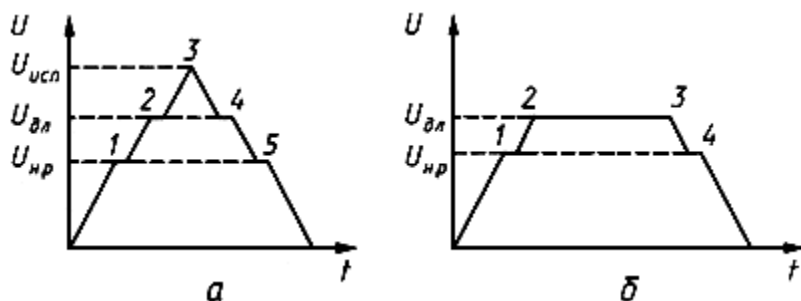


Рисунок 6 – Структура измерительного канала

**В пятой главе** рассмотрены условия и метод измерения частичных разрядов.

Измерение характеристик частичных разрядов необходимо проводить при испытании длительным напряжением промышленной частоты и рекомендуется проводить при испытании одноминутным напряжением промышленной частоты. Интервал между одноминутным и длительным напряжениями не нормируется. Допускается проводить измерение характеристик частичных разрядов при совмещенном испытании одноминутным и длительным напряжениями.



$U_{исп}$  – нормированное испытательное одноминутное напряжение;  $U_{дл}$  – нормированное испытательное длительное напряжение;  $U_{н.р.}$  – наибольшее рабочее напряжение.

Рисунок 7 – Графики изменения напряжения во времени при испытании нормированными испытательными одноминутным и длительным напряжениями.

*а* – испытания нормированным испытательным одноминутным напряжением;

*б* - испытания нормированным испытательным длительным напряжением

**В шестой главе** приведен анализ результатов измерения частичных разрядов.

Характеристики ЧР — основные параметры в системе диагностиро-

вания высоковольтного оборудования, которые наряду с другими диагностическими параметрами позволяют оценить техническое состояние изоляции объектов контроля. В связи с этим качественный анализ результатов является важнейшим элементом в методике диагностирования.

В анализе результатов измерения ЧР и в заключении о техническом состоянии изоляции ОИ должны учитываться и другие параметры ОИ, в том числе период и особенности эксплуатации (в части ремонта), температура изоляции, результаты анализа масла на газосодержание.

Структуру алгоритма анализа диагностических параметров и формирования заключения об остаточном ресурсе контролируемого объекта ОИ можно представить следующим образом (рис. 8).

Как видно из приведенной схемы, к первым шагам реализации алгоритма относятся образование блоков 1 - 3 (см. рис. 8).

К регистрируемым диагностическим параметрам относятся те параметры, которые определяют техническое состояние электрической изоляции ОИ. В состав этих параметров входят характеристики ЧР:

- значение наибольшего кажущегося заряда  $q_R$  неоднократно возникающих ЧР, имеющих коэффициент регулярности  $R$ ;
- значение среднего тока  $I$  наибольших неоднократно возникающих ЧР кажущегося заряда  $q_R$ ;
- число импульсов сигналов ЧР кажущегося заряда  $q_R$ ;
- значение фазовых углов, определяющих расположение сигналов ЧР определенного кажущегося заряда  $q_R$  в;
- виды ремонтных работ и причины их проведения;
- перечень замененных частей и причины их замены;
- перечень параметров, имевших значения, превышающие нормированные и даты получения этих результатов;

— типичный дефект конструкции ОИ и прочие.

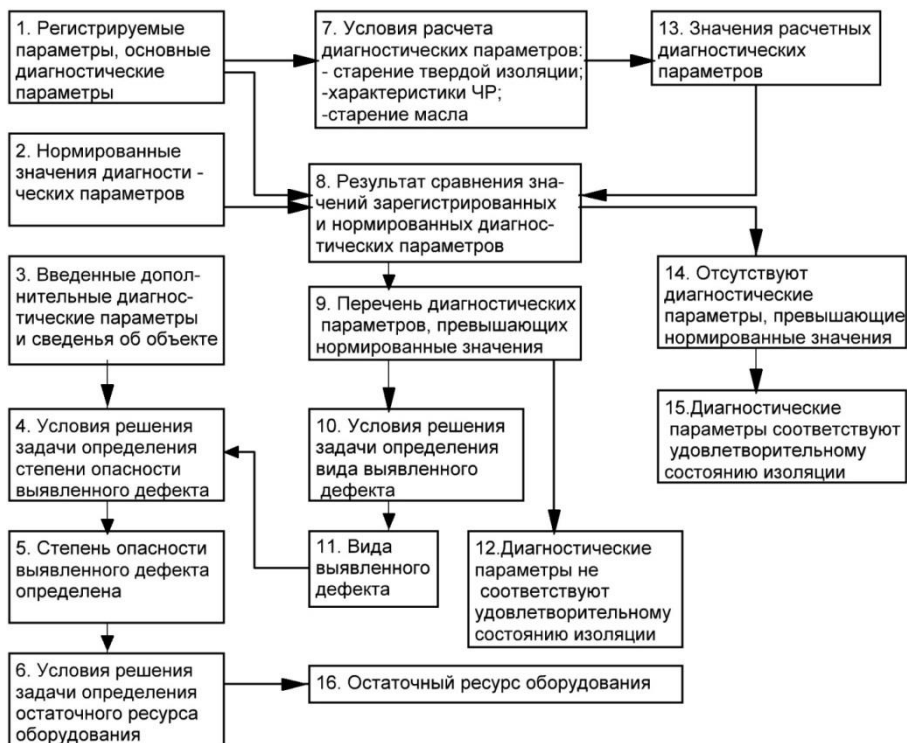


Рисунок 8 – Структура алгоритма анализа диагностических параметров и формирования заключения об остаточном ресурсе ОИ.

В представленном способе контроля состояния ЭЭО сделана попытка исключить потерю значительного объема информации при оценке состояния состаренного оборудования путем измерения степени деформации всей графической зависимости коэффициента диэлектрических потерь в заданном временном интервале, а не в отдельной ее части.

При изучении спектров поляризационных токов, протекающих в объеме контролируемого изоляционного промежутка, было установлено, что наличие разнородных по своим электрическим свойствам материалов в нем

приводит к появлению ярко выраженной структурной поляризации дебаевского типа. В таком случае на зависимости  $\varepsilon''(t) = ti_{abc}(t)$  наблюдается один четко выраженный максимум (рис. 9,а). В начальной стадии старения такой изоляционной конструкции наблюдается заметное изменение параметров материалов промежутка, что приводит к изменению не только значения, но и положения релаксационного максимума на графике. Однако это изменение не имеет четко выраженной тенденции и не может быть положено в основу оценки состояния. Напротив, при значительном старении изоляционной системы в ее твердой компоненте появляются микротрещины, микрополости, разрывы целостности структуры, которые проявляют себя как дополнительные элементы структурной поляризации, что выражается в появлении дополнительного максимума на зависимости  $\varepsilon''(t)$  (рис. 9,б). И если концентрация таких вновь образованных элементов структурной поляризации становится значительной, то размеры и положение второго максимума становятся доминирующими (рис. 9,в,г), свидетельствуя о том, что состояние изоляционного промежутка является угрожающе опасным и требуются срочная разработка и реализация корректирующих мероприятий вплоть до вывода из работы такого ЭЭО.

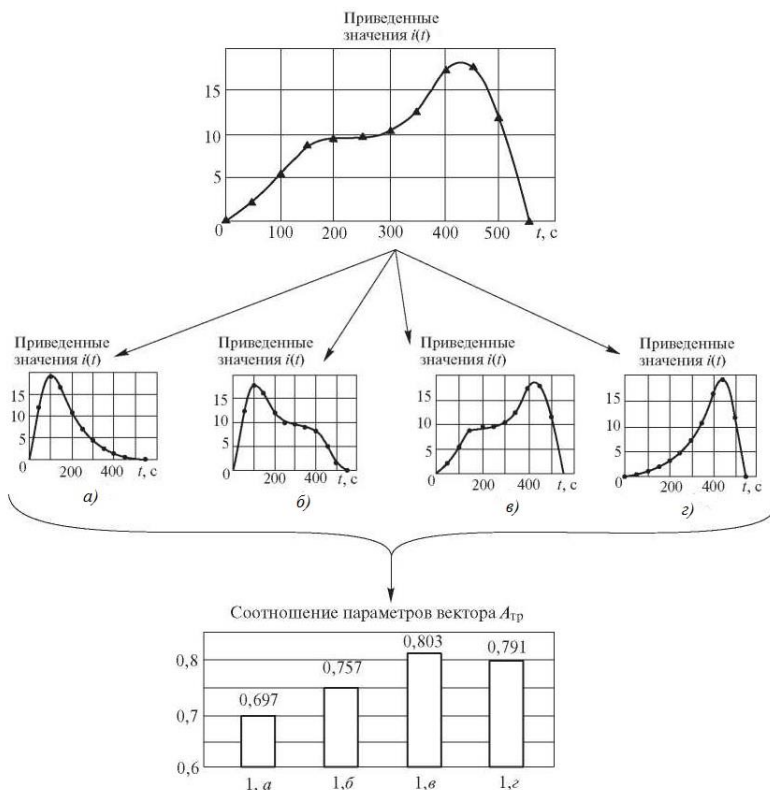


Рисунок 9 - Схема идентификации состояния и ресурса изоляции

### Заключение

В настоящей магистерской диссертации были исследованы современные существующие системы диагностики изоляционных конструкций высоковольтного оборудования.

Результатом исследований магистерской диссертации является разработанная система дистанционного мониторинга и диагностики изоляционных конструкций высоковольтного оборудования методом частичных разрядов. Произведен выбор оборудования, а так же составлен алгоритм анализа диагностических параметров и формирования заключения об остаточном ресурсе ОИ.