

Список литературы

1. О повреждениях силовых трансформаторов напряжением 110–500 кВ в эксплуатации / Б.В. Ванин, Ю. Н. Львов, М. Ю. Львов и др. // Электр. станции. 2001. № 9. С. 53–58.
2. Диагностирование технического состояния силовых трансформаторов энергоблоков центральной электростанции ОАО «ММК» / А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, С.Е. Мостовой и др. // Сб. докл. I междунар. науч.-практ. конф. «ИНТЕХМЕТ-2008». Санкт-Петербург, 2008. С. 113–117.
3. International Standard «High-voltage test techniques – Partial discharge measurements» – IEC 60270, Third edition, 2000-12.
4. Применение технологии ЧР в диагностике изоляции / Claude Kane, Alexander Golubev. <http://www.partial-discharge.com>
5. Повреждаемость, оценка состояния и ремонт силовых трансформаторов / А.П. Долин, В.К. Крайнов, В. В. Сmealov и др. // Энергетик. 2001, № 7. С. 30–34.

Bibliography

1. About faults of mains transformers voltage 110-500 kV in maintenance / B.V. Vanin, J.N.Lvov, M.J.Lvov, etc. // Elektr. Servers. 2001. № 9. with. 53–58.
2. Diagnosing of availability index of product of mains transformers of generating sets of the central power station of open joint-stock company «ММК» / A.S.Karandaev, S.A.Evdokimov, S.E. Mostovoy, etc. // a Sat. report I international. Scientifically-prakt. conference. «ИНТЕХМЕТ-2008». St. Petersburg, 2008. With. 113–117.
3. International Standard «High-voltage test techniques Partial discharge measurements» - IEC 60270, Third edition, 2000-12.
4. Application of production engineering ЧР in isolation diagnostic / Claude Kane, Alexander Golubev. <http://www.partial-discharge.com>
5. Damageability, a state estimation and reconditioning of mains transformers / A.P. Dolin, V.K.Krajnov, V.V. Smekalov, etc. // Power engineering. 2001, № 7. with. 30–34.

УДК 314.212:620.111.3

Карандаев А.С., Евдокимов С.А., Девятков Д.Х., Парсункин Б.Н., Сарлыбаев А.А.

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ

Выполнены эксперименты по измерению разрядной активности силовых трансформаторов центральной электростанции ОАО «ММК». Представлены графики распределения количества частичных разрядов в зависимости от величины их зарядов. Выполнена оценка технического состояния трансформаторов.

Ключевые слова: электростанция, трансформаторы, частичные разряды, замеры, разрядная активность, техническое состояние, критерии, оценка.

Experiments on gauging of discharge activity of mains transformers of the central power station of open joint-stock company «ММК» Are fulfilled. Graphics of allocation of quantity of partial bits depending on magnitude of their charges are presented. The estimation of availability index of product of transformers is fulfilled.

Key words: power station, transformers, partial bits, indications, discharge activity, availability index of product, criteria, an estimation.

Задачами исследований, результаты которых приводятся ниже, являются акустическая локация и обработка информации о частичных разрядах (ЧР) в объемных зонах (баках) трансформаторов энергоблоков центральной электростанции (ЦЭС) ОАО «ММК». Экспериментальные исследования выполнялись на шести трансформаторах, перечень которых представлен в табл. 1.

Измерение разрядной активности

Замеры проводились с помощью переносного прибора анализа частичных разрядов и локации зон дефектов в изоляции высоковольтного оборудования AR-700. С этой целью на внешних сторонах бака устанавливались акустические датчики. Выбор места их расположения осуществлялся согласно методике, рекомендованной фирмой-разработчиком прибора – ПФВ «Вибро-Центр» [1].

1. Датчики устанавливались на южной либо северной сторонах бака на расстоянии 50 см друг от друга.

2. Порог сигнала для всех трансформаторов задавался на уровне 50% максимального значения. При обработке результатов принимались во внимание сигналы, превышающие этот порог.

3. Настройки шума варьировались в зависимости от конкретного трансформатора и находились в пределах 45–50 мВ.

4. Замеры производились в течение 60-ти с.

Пример расположения датчиков на баке трансформатора № 5 и подключение прибора AR-700 показаны на рис. 1. Датчики устанавливались как на стороне низкого, так и на стороне высокого напряжений. Рассматривались варианты установки вблизи высоковольтных вводов, однако это вызвало определенные технические трудности.

Таблица 1

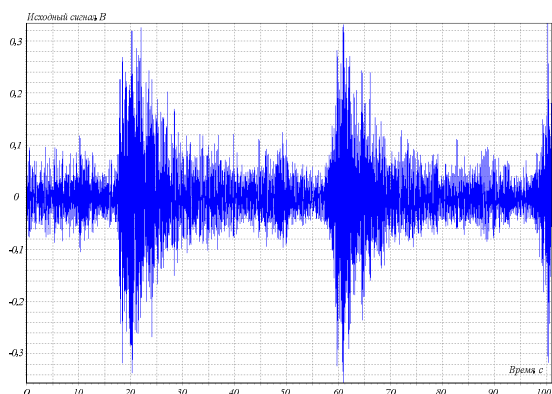
Силовые трансформаторы ЦЭС

Расположение и назначение	Станционный номер	Тип и завод изготовитель	Заводской номер	Год выпуска / срок эксплуатации (лет)
П/ст-110кВ энергоблок	Тр-р №1	ТРДН - 40000 / 110-76У1, г.Тольятти	9835	1978 / 30
П/ст-110кВ система	Тр-р №2	ТРДЦН - 63000 / 110-76У1, г.Тольятти	13580	1983 / 25
П/ст-110кВ система	Тр-р №3	ТРДЦН - 63000 / 110-76У1, г.Тольятти	11964	1981 / 27
П/ст-110кВ энергоблок	Тр-р №4	ТДЦНГУ-80000, г.Москва	927673	1968 / 40
П/ст-110кВ система	Тр-р №5	ТРДН - 63000 / 110- У1, г.Москва	1482839	2000 / 8
П/ст-110кВ система	Тр-р №6	ТРДН - 63000 / 110- У1, г.Москва	1573104	1998 / 10

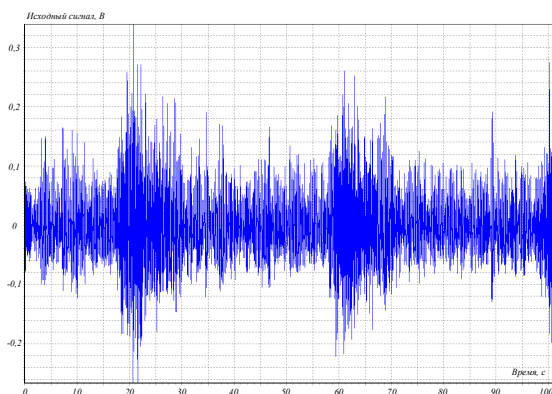


Рис. 1. Пример установки датчиков прибора AR-700

На рис. 2 представлены характерные временные диаграммы, полученные на трансформаторе № 5. Акустические всплески, зафиксированные в исходных сигналах, поступающих с датчиков, характеризуют амплитуду, частоту и длительность ЧР.



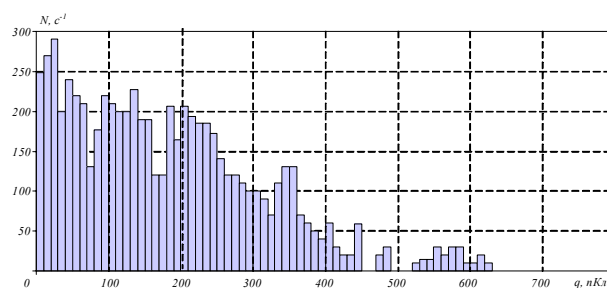
а



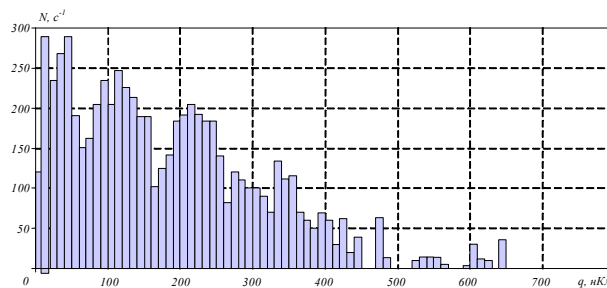
б

Рис. 2. Осциллограммы акустических сигналов с акустических каналов № 1 (а) и №2 (б)

Для оценки технического состояния объекта необходимы обработка данных, полученных по итогам единичных замеров, и их анализ. Для этого удобно представить экспериментальные результаты в виде графика изменения интенсивности ЧР в функции их амплитуды (либо кажущегося заряда) [2]. По итогам обработки результатов замеров, выполненных по сигналам от каждого из четырех акустических датчиков, получены распределения числа ЧР N по их зарядам q , пример которых представлен на рис. 3. При обработке результатов замеров подсчитывалось количество разрядов с амплитудой, превышающей заданный порог 50 мВ. Кроме того, ограничивались учетом только тех ЧР, которые повторяются не менее 10 раз за секунду. Предварительно выделялся спектр сигнала и осуществлялось обратное преобразование Фурье. Данные вычислительные операции выполняются с помощью программного обеспечения AtlantdB, входящего в программный пакет прибора AR-700 [3].



а



б

Рис. 3. Распределение числа ЧР в зависимости от заряда по сигналам с первого (а) и второго (б) датчиков

Из анализа диаграмм следует, что

- диапазоны сигналов ЧР, замеренных разными датчиками, практически совпадают и находятся в пределах $N=0-300 \text{ с}^{-1}$ (от 0 до 6 имп./с);
- по мере роста кажущегося заряда количество ЧР снижается, при этом зависимости имеют почти монотонный спадающий характер, что совпадает с результатами, представленными в [4].

Критерии оценки технического состояния

Диагностирование технического состояния силовых трансформаторов, автотрансформаторов, шунтирующих реакторов и вводов методом регистрации ЧР рекомендуется выполнять в соответствии с методическими указаниями МУ 0634-2006, утвержденными концерном «Розэнергоатом» в 2006 г. [5]. Согласно этой методике на трансформаторах, рекомендованных к обследованию, проводятся измерения следующих характеристик разрядных явлений в активной части, вводах и РПН:

- определение распределений $N(q)$ для подтверждения факта повышенной разрядной активности;
- проведение объемной локализации для идентификации зоны с повышенной разрядной активностью;
- определение формы разрядного явления (выявляются частичный разряд в изоляции, искрения между витками, дуговые процессы).

В соответствии с рекомендациями [5] трансформаторы разделяются на три группы в зависимости от характера $N(q)$ (рис. 4):

1) С состоянием изоляции, соответствующим критерию «НОРМА» – если q_{max} менее принятого уровня помех и ниже кривой №1 (область, ограниченная сверху кривой №1).

2) С состоянием изоляции, соответствующей «НОРМА С ОТКЛОНЕНИЯМИ» и «НОРМА СО ЗНАЧИТЕЛЬНЫМИ ОТКЛОНЕНИЯМИ» – если q_{max} лежит в области между кривыми №1 и №2.

3) С состоянием изоляции, соответствующем «УХУДШЕННОМУ» – если полученная зависимость $N(q)$ превышает критериальную (область, лежащая выше кривой №2).

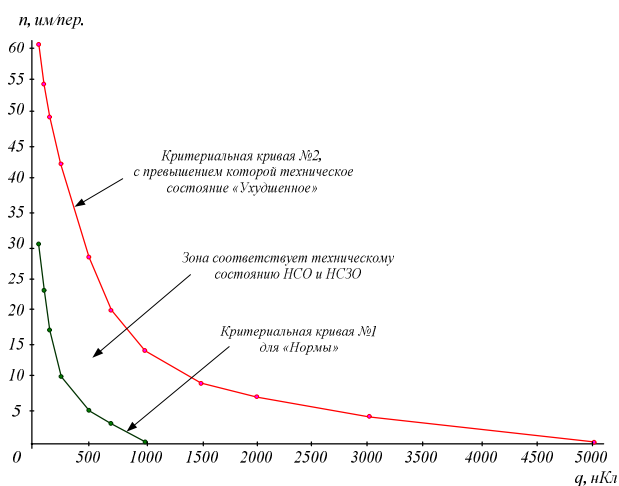


Рис. 4. Критериальные кривые для трансформаторов согласно методике МУ 0634-2006

Поскольку амплитуда ЧР, измеренных на трансформаторах ЦЭС, не превышает 500 мВ, а интенсивность – не выше 300 имп./с (6 имп./пер.), в соответствии с рис. 4, состояние всех трансформаторов соответствует критерию «НОРМА». Рекомендована дальнейшая эксплуатация без ограничений.

В табл. 2 представлены возможные неисправности, соответствующие принятому разделению, а также рекомендации обслуживающему персоналу по дополнительному контролю и профилактическим мероприятиям. В табл. 3 представлены общие признаки, по которым может быть осуществлена предварительная локализация неисправностей в изоляции обмоток и магнитопровода трансформатора [4].

Кривые, представленные на рис. 4, могут считаться универсальными с достаточно высокой степенью достоверности, поскольку представленные критерии являются явно завышенными. Очевидно, что подобные кривые должны быть построены для различных типоразмеров трансформаторов. Для более достоверной оценки технического состояния необходимо проведение заме-

ров при различных исходных условиях. Наиболее просто этого добиться можно в условиях пассивного эксперимента при изменениях нагрузки и температуры.

Таблица 2

Классификация технического состояния изоляции трансформаторов по результатам измерений характеристик ЧР и рекомендации по объемам организационно-технических мероприятий

Классификация технического состояния	Описание возможного дефекта и явлений в нем	Рекомендации эксплуатационному персоналу
НОРМА	Дефекта изоляции нет. Явления ионизационного характера отсутствуют	Эксплуатация без ограничений, профилактика согласно нормативно-технической документации, отнестись сроки ремонтов на позднее время
Норма с наличием отклонений	Имеются признаки возможной неисправности «Точечный источник ЧР», «Слабые дуговые явления». Стадия развития – начальная, без динамики увеличения. Разряды в газовых полостях, образующихся в масле при плохой пропитке или из-за перенасыщения газами	Эксплуатация с выполнением контроля трансформаторного масла
Норма с ростом отклонений	Начальная стадия неисправности «Точечный источник ЧР», «Дуговые явления». Динамика роста величин характеристик ЧР. Разряды в газовых полостях, образующихся при перенасыщении масла газами или высокой влажности, тренинг или перфорация бумажной изоляции	Вводить ограничения по эксплуатации. 1) Дополнительная диагностика (ГХ-анализ проб масла, анализ фурановых соединений). 2) Дополнительная локализация ЧР-активности
Ухудшенное состояние	Развивающийся дефект «Многоочаговые ЧР», «Дуга». Интенсивные частичные разряды в маслоразделительной изоляции с образованием ползущего разряда. Искрения в масляных каналах в местах контактов с «плавающим потенциалом» металлических деталей. Пробои масляных промежутков. Локация определяет наличие дефектов в ответственных изоляционных узлах	Ограничение эксплуатационных воздействий, планирование ремонта. 1) Усиленный контроль состояния в эксплуатации несколькими методами (измерения ЧР, ГХ-анализ). 2) Локализация дефекта осциллографированием. 3) Планирование измерений на рабочем напряжении и профилактического ремонта
Предаварийное состояние	Аварийный дефект «Признаки деградации», «Мощная дуга» Устойчивое формирование регулярных ползущих разрядов, искровые разряды в каналах, образование дуги между витками или деталями обмотки и магнитопровода	1) Немедленный вывод из работы. 2) В случае отсутствия возможности останова (по ряду причин – социальных, экономических и т.д.) – создание системы непрерывного мониторинга или усиленного контроля проб масла (не реже одного раза в неделю)

Таблица 3

Условия локализация разрядной активности в изоляции конструктивных элементов силовых трансформаторов

Характеристики активности ЧР	Изоляция обмоток трансформатора	Изоляция магнитопровода	Результаты измерения
Отсутствие признаков дефекта	Фиксируются только шумы, шумовая дорожка (белый шум) не более 20 пКл		Участки с ЧР отсутствуют
Точечный источник ЧР	Имеется несколько мест (участков) с ионизационными процессами, одна или две моды, два-три типа осциллограмм	Имеются редкие случайные импульсы от ЧР, которые фиксируются в одном периоде сетевого напряжения	Определяется несколько участков с ЧР-активностью
Многоочаговые ЧР в изоляции	Имеется 5–7 мест с источником ЧР в участках с наибольшим потенциалом. На кривой $N(q)$ несколько мод	Повторяемость сигналов в каждом периоде сетевого напряжения. На кривой $N(q)$ отмечается некоторый интервал с сигналом или модой	
Признаки деградации изоляции	Число мест с ЧР более 10, $N(q)$ является падающей, нет отчетливых максимумов для очагов ЧР на участках с наибольшим потенциалом	На кривой $N(q)$ наличие 3–5 пиков, соответствующих ЧР в изоляции магнитопровода	Имеется протяженная зона с ЧР-активностью

В результате многократных экспериментов по акустической локации ЧР, выполненных на трансформаторах ЦЭС в течение 2,5 лет, сделаны следующие выводы:

1. Подтверждены основные достоинства акустического метода:

- оперативность – измерение, контроль и последующий анализ результатов проводятся без снятия силового напряжения;
- принципиальная возможность достоверного диагностирования нарушений технического состояния трансформатора и локализации участков возникновения повреждений.

2. Подтверждена целесообразность проведения дальнейших диагностических обследований трансформаторов ЦЭС с применением переносного прибора анализа частичных разрядов и локации зоны дефектов в изоляции высоковольтного оборудования. Целью таких исследований является сбор статистической информации, позволяющей сделать однозначные выводы о техническом состоянии, характере неисправностей и местах возникновения дефектов.

3. Подтверждена прямая взаимосвязь частоты возникновения ЧР и длительности эксплуатации трансформатора после капитального ремонта. Накопление информации и обработка сигналов позволят определить количественные характеристики ЧР, перечень которых представлен в [2]. С этой целью даны

рекомендации по приобретению и установке на трансформаторах №1–4 (с наиболее продолжительными сроками эксплуатации) стационарных приборов с целью постоянного контроля развития ЧР. Для остальных трансформаторов рекомендовано проведение периодических замеров с частотой не реже одного раза в 6 месяцев.

Обработка результатов путем визуальной оценки числа импульсов и их амплитуд не позволяет обеспечить высокой точности. Вместе с тем, по диаграммам, представленным на рис. 3, можно судить о частоте возникновения ЧР, уровне их амплитуд либо кажущихся зарядов и сделать предварительные выводы о техническом состоянии. С целью идентификации повреждений целесообразно более четко локализовать места повышенной разрядной активности (скопления ЧР) и прослеживать динамику их развития. Для этого необходимо применить методы математической обработки динамически изменяющихся данных, наиболее приемлемым из которых является метод кластерного анализа [6].

Список литературы

1. Прибор анализа частичных разрядов и локации зоны дефектов в изоляции высоковольтного оборудования при помощи акустических датчиков «AR700»: руководство по эксплуатации. Пермь: ПФФ «Вибро-Центр». 23 с.
2. ГОСТ 20074-83. Электрооборудование и электроустановки. Методы измерения характеристик частичных разрядов. База данных по акустическим сигналам АТЛАНТ-ДБ. Руководство пользователя. Пермь: ПФФ «Вибро-Центр». 9 с.
3. Аксенов Ю.П. Мониторинг технического состояния высоковольтной изоляции электрооборудования энергетического назначения в эксплуатации и при ремонтах. М.: Научтехлитиздат, 2002. 338 с.
4. Методические указания по диагностике силовых трансформаторов, автотрансформаторов, шунтирующих реакторов и их вводов МУ 0634-2006. Концерн «РОСЭНЕРГОАТОМ». <http://leg.co.ua/knigi/oborudovanie/diagnostika-transformatorov-i-shuntiruyuschih-reaktorov.html>
5. Алгоритм оценки технического состояния трансформатора по характеристикам частичных разрядов с использованием метода кластерного анализа / А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, В.А. Кузнецов и др. // Энергосбережение, электромагнитная совместимость и качество в электрических системах: сборник статей II Междунар. науч.-практ. конференции. Пенза: Приволжский Дом знаний, 2011. С. 130–133.

Bibliography

1. The instrument of the assaying of partial bits and a location of allowed band of defects in insulation of the high-voltage equipment by means of sonic sensors «AR700». The Operating manual. Perm: ПФФ «Vibro-centre». 23 with.
2. GOST 20074-83. An electric equipment and electrical installations. Methods of gauging of characteristics of partial bits.
3. A database on audible signal ATLANT-DB. The User manual. - Perm: ПФФ «Vibro-centre». 9 with.
4. Aksenov JU.P. Monitoring of availability index of product of a high-voltage insulation of an electric equipment of energetic assignment in maintenance and at reconditioning. - M: НТХЛ, 2002. - 338 with.
5. Methodical directions for to diagnostic of mains transformers, the autotransformers, bypassing chokes and their feedings into МУ 0634-2006. Concern «ROSENERGOATOM». <<http://leg.co.ua/knigi/oborudovanie/diagnostika-transformatorov-i-shuntiruyuschih-reaktorov.html>>
6. Algorithm of an estimation of availability index of product of the transformer under characteristics of partial bits with usage of a method of cluster analysis / A.S.Karandaev, S.A.Evdokimov, V.A.Kuznetsov, etc./the Energy conservation, electromagnetic compatibility and quality in electrical systems: the Collector of papers of II International scientifically-practical conference. Penza: the Privolzhsky Dwelling of knowledge, 2011. With. 130–133.