

Танеева А.В.,

*к.т.н. доцент, кафедра: Энергообеспечение предприятий и
энергоресурсосберегающих технологий.*

Казанский государственный энергетический университет.

Россия, г. Казань

Красильников А.В.,

Студент 3 курс

Казанский государственный энергетический университет.

Россия, г. Казань

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ОСНОВЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ

***Ключевые слова:** неисправности трансформатора, силы вибрации, вибродиагностика, метод контроля, техническая реализация.*

***Аннотация:** в статье рассмотрены основные виды дефектов силовых трансформаторов, а также существующие методы диагностики, исследованы и проанализированы источники вибрации силовых трансформаторов. Магнитострикция и электродинамические усилия. Представлены силы, действующие на активную часть силового трансформатора, а также силы, возникающие при несимметрии обмоток.*

***Key words:** transformer malfunctions, vibration forces, vibration diagnostics, control method, technical realization*

***Annotation:** The article discusses the main types of defects in power transformers, as well as the existing diagnostic methods, studied and analyzed the sources of vibration of power transformers. Magnetostriction and electrodynamic forces. The forces acting on the active part of the power transformer, as well as the forces arising from winding asymmetry, are presented.*

В современном мире доминантой среди требований является надежность и экономичность основного оборудования электроэнергетических систем, которые выполняют основные функции преобразования уровня напряжения в электрических сетях - силовые трансформаторы. Самыми частотными проблемами в настоящее время являются задачи оценки технического состояния электрооборудования и мониторинга сети передачи и распределения электроэнергии[3, с 32]:

Во-первых, текущим высоким уровнем износа сетей и оборудования по продолжительности срока службы;

Во-вторых, отсутствием простых и однозначных критериев определения окончания срока службы для различных видов электрооборудования;

В-третьих, наметившимися тенденциями к росту нагрузок электропотребления.

Поэтому и возникает необходимость поиска новых способов оценки их технического состояния. В свою очередь появляется требование существенно снизить количество потраченного времени проведения контроля технического состояния при достаточно высокой чувствительности к наиболее вероятным видам повреждений, связанных с нарушением степени опрессовки активной части трансформатора.

На сегодняшний день существуют различные методики и методы оценивания технического состояния силового электрооборудования, но одним из фаворитов с точки зрения эффективности является метод вибрационной диагностики [4, с. 7-12], а именно: измерение параметров и характеристик вибрации, генерируемых силовым трансформатором; сравнение по определенным критериям экспериментальных оценок параметров и характеристик вибрации с заданными; принятие решения о техническом состоянии.

Важнейшими задачами при оценке технического состояния является установление зависимостей между параметрами дефектов и характеристиками вибрационных процессов для исследуемого силового оборудования и качественный анализ характеристик этих процессов.

Вибрационные процессы силовых трансформаторов носят сложный характер, представляют собой совокупность периодических и импульсных процессов, которые зависят от технического состояния магнитопровода, обмотки и режима нагрузки. Качество вибродиагностики во многом определяется техническими средствами диагностики и мониторинга непрерывного контроля технического состояния силового трансформатора и достоверностью алгоритма оценки параметров на этапе измерения.

Рассмотрим наиболее характерные повреждения, которые могут возникнуть в любых масляных трансформаторах. Повреждения или отклонения от нормального режима работы могут быть вызваны различными причинами; скрытыми дефектами изготовления, недоработкой конструкции нарушениями правил перевозки, технологии монтажа или правил эксплуатации, некачественным ремонтом [2, с. 56]. Своевременное выявление возникающего дефекта позволяет принять меры по предупреждению его развития и сохранению работоспособного состояния трансформатора. В большинстве случаев повреждение происходит не сразу, а после более или менее длительного воздействия неблагоприятного фактора. Наиболее распространенными видами повреждения силовых трансформаторов являются **повреждение высоковольтных вводов и повреждение устройств регулирования напряжения под нагрузкой (РПН)**. В настоящее время эксплуатируются негерметичные и герметичные маслonaполненные вводы, а также вводы с твердой изоляцией.

Существенное влияние на общую работоспособность трансформатора оказывают также вспомогательные узлы и устройства. Так, например, повреждение маслonaсоса в трансформаторах с системой охлаждения Ц и ДЦ приводит к попаданию металлических частиц и других примесей в трансформаторное масло и, будучи несвоевременно выявленным, вызывает серьезные аварии [6, с. 102]. При нарушении резиновых и других уплотнений увлажняется трансформаторное масло. Неисправность стрелочного маслоуказателя приводит к недопустимому снижению или превышению уровня масла и т.д.

Силовые трансформаторы и автотрансформаторы состоят из следующих основных элементов: бак, вводы, устройство РПН и система охлаждения. Бак трансформатора сделан из стали, заполнен трансформаторным маслом и имеет герметичное исполнение. Внутри бака находятся основные элементы трансформатора - обмотка и магнитопровод. Рассмотрим дефекты, возникающие в обмотках, причины их возникновения, методы определения, а также средства диагностики, при помощи которых они выявляются.

К числу опасных дефектов относятся осевые смещения отдельных катушек и радиальные их деформации. Более 80% повреждений мощных трансформаторов при коротких замыканиях связано с потерей радиальной устойчивости обмоток.

Диагностирование описанных дефектов возможно как электрическими, так и вибрационными методами контроля.

Для диагностики механических деформаций обмоток трансформаторов применяются следующие методы [1, с. 74-76];

- ✓ метод измерения сопротивления короткого замыкания Z_K ;
- ✓ метод низковольтных импульсов (метод НВИ);
- ✓ по вибрации на поверхности бака;
- ✓ метод частотных характеристик;
- ✓ метод короткого замыкания.

Анализ внутренних повреждений трансформаторов [2, с. 32] показывает, что надежность современного трансформатора в значительной мере определяется состоянием его изоляции.

Измерение уровня вибрации на стенке бака трансформатора обычно проводится в двух режимах работы оборудования: в режиме холостого хода и в режиме нагрузки.

Рабочими условиями эксплуатации переносных спектроанализаторов обычно являются:

- температура окружающего воздуха от - 20 до + 60 °С;
- относительная влажность до 90 %;
- атмосферное давление от 630 до 800 мм. рт. ст.

Для измерения вибрации используется переносной виброанализатор в режиме измерения виброускорений, виброскоростей или среднеквадратичных значений виброперемещений.

При обследовании датчик последовательно устанавливается в каждом секторе, и снимаются показания прибора.

Результаты, полученные при вибрационном обследовании трансформатора, сравниваются между собой, а также с результатами предыдущих измерений. Для реакторов также производится сравнение с предельно допустимыми значениями.

Производится запись сигналов зарегистрированных вибродатчиком в спектроанализатор в каждой из размеченных точек. Измерения выполняются в режимах нагрузки и холостого хода.

После записи полного цикла замеров вибрации в память виброанализатора эта информация переписывалась в компьютер, где производился ее анализ с помощью экспертной системы, например “ВЕСТА”.

Экспертная система “ВЕСТА” представляет результаты вибрационного обследования в табличной форме (таблица 1.)

Таблица.1

Сторона трансформатора	Точки	СКЗ виброскорости в точках замера, мм/с					
		А		В		С	
		XX	PH	XX	PH	XX	PH
ВН	Верхняя	5,80	11,25	3,6	3,37	3,0	2,77
	Нижняя	1,20	1,43	7,8	2,45	2,2	1,75
НН	Верхняя	2,66	2,36	3,3	6,11	1,3	1,12
	Нижняя	1,40	1,72	3,1	3,28	2,3	1,97

По результатам вибрационного обследования трансформатора программа выдает относительные коэффициенты качества прессовки элементов трансформатора. Все эти коэффициенты рассчитываются как для всего трансформатора, так и для каждой фазы и для любой контролируемой точки.

Для всех коэффициентов заложен следующий качественный принцип – чем больше коэффициент отличается в меньшую сторону от единицы, тем хуже состояние. Максимальное значение коэффициента – единица, соответствующая идеальному состоянию данного параметра.

Оценка остаточных усилий прессовки обмоток трансформатора проводится при помощи диагностического комплекса ДИК - 2С.

Осуществляется нагружение трансформатора импульсными механическими воздействиями (ударами) с одновременной регистрацией напряжения наведенного в обмотках. Сигналы напряжения, наведенные в обмотках трансформатора, подвергаются обработке с целью получения оценок спектральных плотностей мощности (СПМ). Оценка СПМ напряжения, наведенного в обмотке трансформатора производится на основе модели авторегрессии скользящего среднего (АРСС) (рисунок 1).

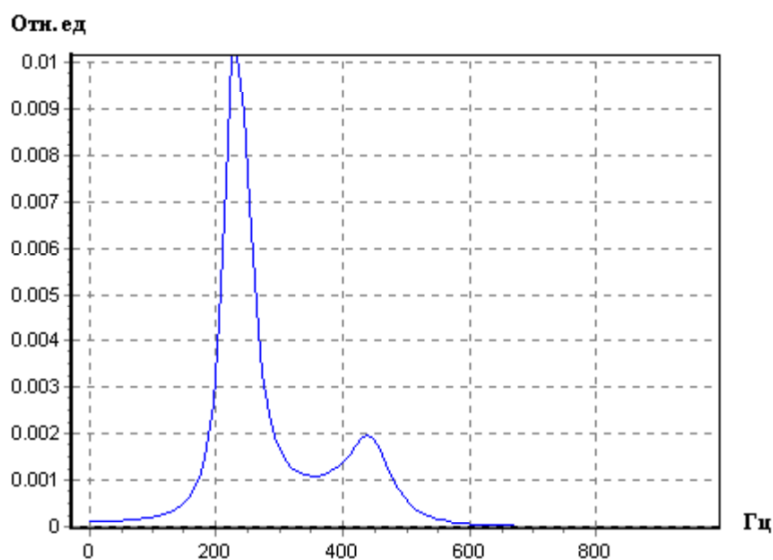


Рисунок 1 – АРСС-модель оценки СПМ напряжения, наведенного в обмотке ВН

На выбор системы мониторинга оказывает влияние текущее техническое состояние трансформатора, срок его эксплуатации, наличие развивающихся проблем и т. д. В зависимости от мощности силового трансформатора система мониторинга должна обладать различными свойствами. Чем выше мощность, и выше технологическая значимость трансформатора, тем большее количество первичных датчиков необходимо установить на контролируемом трансформаторе.

Выбор типа определенной системы, и конкретных диагностических модулей, производится на основании анализа технического задания на поставку системы диагностического мониторинга трансформаторного оборудования.

Таблица 2 - основные технические особенности применения этих систем диагностического мониторинга.

Таблица 2.

№	Параметры системы мониторинга	Марка системы мониторинга		
		ТМ-3	ТМ-9	ТДМ
1.	Рабочее напряжения стороны ВН контролируемых трансформаторов, кВ.	110-330	330-750	330-750
2.	Исполнение контролируемого трансформатора: 1- в одном баке, 2- группа отдельных фаз.	1	1	1,2
3	Максимальное количество контролируемых трехфазных обмоток трансформатора.	1	3	4 и более
4	Количество контролируемых высоковольтных вводов в трансформаторе.	3	9	12
5	Контроль системы РПН	-	-	+

Перечислим в нашей статье основные виды мониторингов, требуемых параметров трансформатора.

1. Мониторинг влагосодержания и концентрации растворенных газов в масле трансформатора.
2. Мониторинг технического состояния и изоляции высоковольтных вводов трансформатора
3. Мониторинг частичных разрядов в высоковольтных вводах и главной изоляции трансформатора.
4. Мониторинг тепловых режимов работы трансформатора и управления системой охлаждения.
5. Система мониторинга состояния РПН трансформатора.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Баширов З.А., Волошановский А.Ю., Наумов А.А, Методы расстановки датчиков для оценки скалярного вибрационного поля в задачах вибродиагностики // Проблемы энергетики. 2015. № 7-8.
2. Баширов З.А., Волошановский А.Ю., Тюрин А.Н. Синтез пространственно-временного диагностического комплекса анализа акустического поля излучаемого электротехническим оборудованием // Электроэнергетика. Известия Вузов. Проблемы энергетики. 2013.
3. Биценко К., Граммель Р. Техническая динамика, М.: Гостехиздат, 1991.
4. Вибрация и вибродиагностика' судового электрооборудования./ Александров А.А., Барков А.В., Баркова Н.А., Шафранский В.А., / Л., Издательство Судостроение, 2016.
5. Волошановский А.Ю., Тюрин А.Н. Диагностика магнитопровода силового трансформатора во время эксплуатации на основе анализа его вынужденных форм колебаний // Материалы 15-ой Всероссийской межвузовской конференции «Электромеханические и внутрикамерные процессы в энергетических установках, струйная акустика и диагностика, приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий». - Казань, 2013.
6. ГОСТ 243 46-80 Вибрация. Термины и определения.