

**Кокорин Д.В., Лебедев Н.А.**

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова  
Научный руководитель – А.А. Грибанов, к.т.н., доцент

## СПОСОБ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА НАМОТКИ И СБОРКИ ОБМОТОК СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА ОСНОВЕ ТЕСТИРОВАНИЯ ИХ ПРЯМОУГОЛЬНЫМ ИМПУЛЬСОМ НАПРЯЖЕНИЯ

Силовые трансформаторы являются основным устройством, преобразующим переменный ток одного напряжения в переменный ток другого напряжения. В настоящее время парк трансформаторов в нашей стране существенно изношен. Наибольшую его часть составляют трансформаторы со сроком службы более 20 лет. Поэтому актуальной является проблема обеспечения закреплённого ГОСТ Р 52719-2007 «Силовые трансформаторы. Общие технические условия» уровня надёжности. Он описывается двумя параметрами:

- установленная наработка на отказ должна составлять не менее 25000 часов;
- полный срок службы – не менее 30 лет.

Недостаточная электродинамическая стойкость обмоток трансформатора при протекании токов короткого замыкания, приводящая к механическим деформациям обмоток, является одной из основных причин аварийного выхода трансформатора из строя.

Продление жизни трансформатора в значительной степени зависит от стабильности механических характеристик его обмоток. Однако даже в правильно спроектированном трансформаторе заложены предпосылки его будущих проблем применительно к электродинамической стойкости при КЗ. Причиной этих предпосылок является технология изготовления обмоток, из-за чего обмотки нового трансформатора с самого начала имеют некоторые неправильности: неплотность намотки, неравномерная запрессовка и т.п.

Решить данную проблему можно различными способами. Для производителя трансформаторов, которым является ОАО «Алттранс», интерес представляет пооперационный контроль качества. В настоящее время используются отдельные методы пооперационного контроля, основанные на сопоставлении фактических и эталонных значений омических сопротивлений катушек. Основным недостатком этих методов является то, что рассматривается только сопротивление постоянному току, в то время как у трансформатора в рабочем режиме используется переменный ток и определяющей является индуктивная составляющая сопротивления. Кроме того, по технологии измерение омического сопротивления проводится лишь после монтажа катушки на магнитопровод, то есть уже на этапе сборки. Намотка катушек осуществляется на специализированных технологических линиях с ручным доведением конфигурации обмоток до проектных показателей с визуальным контролем качества. Поэтому актуальным является внедрение

пооперационного контроля качества технологических операций при изготовлении трансформаторов.

Решением указанной задачи является внедрение новых перспективных методов диагностики и контроля технического состояния силовых трансформаторов. Одним из таких методов является метод волновых затухающих колебаний. Этот метод позволяет выявлять не только дефекты электрической природы, но и механической и электромагнитной. Суть его состоит в том, что на один вывод обмотки подаётся тестовый сигнал прямоугольной формы, а с другого вывода фиксируется диагностический сигнал. Следует учитывать, что снимать диагностический сигнал можно как с обмотки другой фазы того же напряжения, так и с обмотки любой фазы другого напряжения. Первый случай будем называть диагностикой обмоток одного напряжения, а второй – продольной диагностикой трансформатора. Контроль качества диагностикой обмоток одного напряжения целесообразно использовать на всех стадиях технологического процесса, а продольную диагностику – во время сборки и при финальных испытаниях.

Для внедрения предлагаемого метода диагностики в технологический процесс изготовления силовых трансформаторов необходимо информационное и методическое обеспечение. Поскольку на предприятии ведётся серийное производство группы трансформаторов, то необходимым компонентом указанных видов обеспечения контроля качества является математическое моделирование процессов, протекающих в обмотках силовых трансформаторов при тестировании их импульсами напряжения для условно-идеального состояния обмоток трансформатора, под которым подразумевается совокупность параметров трансформатора, соответствующих всем требованиям, предъявляемым проектной и нормативно-технической документацией.

В основе математического моделирования лежит использование схем замещения. При изменении какого-либо параметра схемы замещения, будет изменяться процесс, протекающий в обмотках и изоляции трансформатора, объяснение этого процесса позволит объективно оценить работу оборудования и принять решение о возможности дальнейшего использования в технологическом процессе или необходимости устранения дефектов, возникших в результате неудовлетворительного проведения технологических операций.

В процессе исследования были разработаны несколько схем замещения трансформатора и на основании наиболее правильного учёта всех параметров были выбраны две наиболее подходящие. После чего были обоснованы все элементы схемы замещения. Для каждой из схем выведены характеристические уравнения. Для нахождения корней полученных уравнений необходимо задаться значениями всех элементов схемы замещения. Существует два способа нахождения значений элементов схемы замещения. Первый – это опытный, заключающийся в снятии значений непосредственно с электроустановки, замеров величин и их обработке. Второй – это справочный, обосновывающийся

нахождением значений в справочных материалах для конкретного типа оборудования.

В ходе теоретического исследования процессов, происходящих в обмотках силовых трансформаторов при тестировании их импульсами напряжения, были получены математические модели, позволяющие определять параметры схем замещения силовых трансформаторов 6-10/0,4 кВ. Их использование позволяет получить значения параметров схем замещения на различных этапах технологического процесса изготовления и сборки трансформаторов.

На следующем этапе будет проведена проверка адекватности результатов теоретического исследования путём проведения комплекса экспериментов для различных схем соединения обмоток, таких как: звезда-звезда, звезда-треугольник. Кроме этого планируется проведение исследований для случаев нахождения обеих обмоток на одном стержне и на разных стержнях магнитопровода.