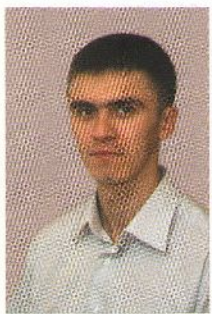




ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ДЕФЕКТАМИ ОБМОТОК

Ильдарханов Р.Г.¹, инженер филиала ООО "КЭР-Инжиниринг" - Инженерный центр "Энергопрогресс"



Приведены результаты экспериментальных измерений частотных характеристик обмоток двух трансформаторов марки ТМ-160/10 с радиальной деформацией в виде "полегания" витков по всей высоте обмотки, а также одного трансформатора марки ТМН-2500/110 до и после капитального ремонта со вскрытием и подпрессовкой активной части. Проведено сравнение полученных данных с результатами моделирования обмотки силового трансформатора марки ТРДН-25000/110. Сравнительный анализ показал, что результаты моделирования подтверждаются экспериментально.

Ключевые слова: силовой трансформатор, метод частотного анализа, передаточная функция, деформации обмоток.

Обеспечение надёжности электроснабжения потребителей, устойчивости работы электрических систем является приоритетной и актуальной проблемой электроэнергетики. Надёжная работа энергосистем неразрывно связана с надёжностью силовых трансформаторов (СТ). Большое количество аварийных ситуаций в СТ связано с разрушениями изоляции обмоток, возникающими, как правило, вследствие изменения их геометрии или витковых замыканий. Выявление деформаций обмоток на раннем этапе их развития позволит своевременно провести плановые ремонтно-восстановительные работы без развития системных аварий. Совершенствование существующих и разработка новых диагностических методов, позволяющих более точно и на более ранних этапах развития дефектов СТ определять их присутствие и степень развития в работающем СТ, является актуальной задачей.

Одним из признанных и эффективных методов контроля состояния обмоток СТ является метод частотного анализа (МЧА). Этот метод высокочувствителен ко всем видам деформаций обмоток и в отличие от метода измерения комплексного сопротивления Z_k позволяет прогнозировать не только наличие дефекта, но также его тип, локализацию в обмотке и степень развития. При этом большинство публикаций по исследованию МЧА практически лишено теоретической трактовки результатов экспериментов и носит феноменологический характер.

Для решения этой проблемы разработана математическая модель обмотки низкого напряжения (НН) СТ марки ТРДН-25000/110, подробно рассмотренная в [1], в рамках которой проведена оценка положения резонансных частот передаточной функции (ПФ) обмотки в зависимости от типа дефекта, степени его развития и локализации, а также построены оценочные диаграммы, раскрывающие зависимость относительного изменения частот резонансов ПФ от степени развития дефекта.



Рис. 1. Относительное изменение частот резонансов ПФ при распрессовке

Указанные диаграммы при ослаблении усилия прессовки и при радиальной деформации в виде "полегания" витков по всей высоте обмотки приведены на рис. 1 и 2 соответственно, где цифрами от 1 до 11 указаны номера резонансов ПФ исследуемой обмотки. Под степенью развития дефекта для рис. 1 подразумевается остаточное усилие прессовки в процентах от заводской, для рис. 2 - значение радиального смещения витков Δr , мм.

¹ 420080, Россия, РТ, г. Казань, пр. Ямашева, д.10



Рис. 2. Относительное изменение частот резонансов ПФ при "полегании" по всей высоте обмотки.

Для подтверждения изменений ПФ, прогнозируемых моделью, проведены экспериментальные исследования частотных характеристик (ЧХ) двух СТ марки ТМ-160/10 с искусственно созданным "полеганием" витков по всей высоте обмотки, а также одного СТ марки ТМН-2500/110 до и после капитального ремонта со вскрытием и подпрессовкой активной части. Обследование производилось с помощью установки для диагностики трансформаторов методом частотного анализа "Импульс-9". В случае трансформаторов ТМ-160/10 деформирование производилось по внешней стороне обмотки высокого напряжения (ВН). Выбор деформации обмотки в виде "полегания" витков обоснован тем, что данный вид дефекта наиболее прост для создания в случае исправного трансформатора.

На рис. 3 приведены результаты измерений ПФ одной и той же фазы обмотки ВН трансформатора марки ТМН-2500/110 зав. №1665, выполненных непосредственно перед вскрытием, а также после капитального ремонта с подпрессовкой обмоток. Визуальный осмотр активной части показал неодинаковое усилие прессовки по всей длине прессующего кольца обмоток фазы А (рис. 4), а также ряд других дефектов. На рис. 3 отчетливо видно уменьшение частот соответствующих резонансов после увеличения усилия прессовки. Первые три из соответствующих резонансов, частоты которых изменились, отмечены на рис. 3 пунктиром. Аналогичная картина наблюдается и при сравнении ПФ обмоток ВН фаз В и С.

На рис. 5 приведены ПФ обмоток ВН трансформаторов ТМ-160/10 при "полегании" витков по всей высоте обмотки. Из сравнения кривых отчетливо видно последовательное уменьшение частот резонансов при увеличении величины деформации. Как видно из рис. 5, для СТ аналогичной марки качественная картина изменения частот резонансов ПФ повторяется, что говорит о том, что обнаруженные изменения ПФ при "полегании" витков обмотки по всей высоте являются характерными для данного вида дефекта. Фотография обмотки до и после повреждения приведена на рис. 6.



Рис. 3. ПФ обмоток ВН трансформатора ТМН-2500/110 ЧТЗ зав. №1665 до и после подпрессовки обмоток

Следует также отметить, что для ПФ трансформаторов марки ТМ-160/10, рассматриваемых в данной работе, характерно наличие одного резонанса в диапазоне частот 400 - 800 кГц, складывающегося из нескольких частотных составляющих, вследствие чего данный резонанс обладает сравнительно большой полной шириной на половине высоты, что свидетельствует об одинаковости конструкций обмоток, указанных СТ.

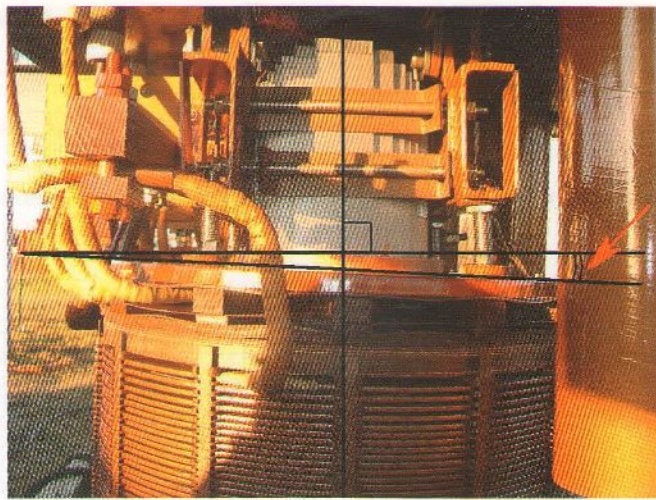


Рис. 4. Положение прессующего кольца обмотки фазы А

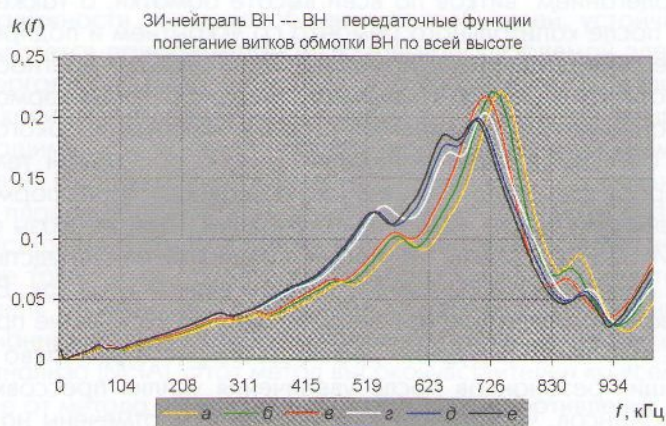


Рис. 5. Передаточные функции ТМ-160/10 при "полегании" витков обмотки ВН по всей высоте обмотки.

СТ №1 фаза С: а - без дефекта, б - $\Delta r = 10$ мм, в - $\Delta r = 15$ мм;
СТ №2 фаза А: г - без дефекта, д - $\Delta r = 10$ мм, е - $\Delta r = 15$ мм



а) б)

Рис. 6. Обмотка ВН трансформатора №2.

а - до повреждения (исправная), б - после внесения повреждения

Сравнивая характер изменения частот резонансов ПФ, приведенных на рис. 3 и 5, с оценочными диаграммами (рис. 1 и 2 соответственно), можно убедиться в том, что качественная картина изменения частот резонансов, предсказываемая моделью, наблюдается как при ослаблении усилия прессовки обмотки (рис. 3), так и при "полегании" витков по всей высоте (рис. 5). При этом обмотки ВН трансформаторов марки ТМ-160/10 являются



многослойными цилиндрическими и конструктивно имеют отличия от катушечной обмотки, смоделированной в [1]. Тем не менее характер изменений ПФ одинаков при сохранении набора резонансов, присущих каждому типу СТ.

Обмотки ВН трансформатора марки ТМН-2500/110 являются катушечными и конструктивно схожи с моделируемой обмоткой НН. Различия ПФ реального трансформатора и модели обусловлены различием геометрических параметров обмоток СТ марок ТМН-2500/110 и ТРДН-25000/110. В то же время качественные изменения частот резонансов при ослаблении усилия прессовки соответствуют изменениям, предсказанным моделью обмотки для данного типа дефекта.

Следовательно, результаты моделирования подтверждаются результатами экспериментальных исследований, что говорит о корректности построенной модели и целесообразности её применения для контроля состояния обмоток НН трансформаторов марки ТРДН-25000/110, а также возможности использования предлагаемой методики построения модели для обмоток СТ других типов.

Выводы

Для подтверждения прогнозируемых моделью обмотки изменений ПФ проведены экспериментальные исследования ЧХ обмоток двух СТ марки ТМ-160/10 с искусственно созданной радиальной деформацией в виде "полегания" витков, а также одного СТ марки ТМН-2500/110 до и после капитального ремонта со вскрытием и подпрессовкой активной части. Измерения показали, что результаты моделирования подтверждаются экспериментально. Данный факт свидетельствует о корректности построенной модели и целесообразности её применения для контроля состояния обмоток НН трансформаторов марки ТРДН-25000/110, а также возможности использования предлагаемой методики построения модели для обмоток СТ других типов.

Литература

1. Ильдарханов Р.Г. Математическая модель обмотки трансформатора ТРДН-25000/110 // Энергетика Татарстана. - №3(19). - 2010. - С. 60-66.
2. Ильдарханов Р.Г., Усачев А.Е. Контроль состояния обмоток силовых трансформаторов путём спектрального анализа передаточных функций // Известия вузов. Проблемы энергетики №3-4. - 2010. - С. 38-47.
3. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов. Учеб. Пособие для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. М., "Энергия", 1976. - 544 с.
4. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей: Справочная книга. - 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. - 488 с.