

Интерпретация результатов диагностики силовых трансформаторов при использовании метода частотного анализа (FRA)

А.Ю. Волков

ФГУП ВЭИ

А.А. Дробышевский¹, В.С. Ларин

ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

С.А. Дробышевский

Megger Limited

Д.А. Матвеев

НИУ МЭИ

Россия

Недостаточная электродинамическая стойкость при коротких замыканиях (КЗ) обмоток трансформаторов, приводящая к механическим деформациям обмоток, является одной из главных причин аварийного вывода трансформаторов из эксплуатации. Эта проблема усугубляется в последние года, так как состояние парка силовых трансформаторов сегодня характеризуется значительной долей изношенного оборудования, нормируемый срок жизни которых уже истек или близок к этому. Периодически перед обслуживающим персоналом встает вопрос: нужно ли выводить трансформатор в ремонт, или его эксплуатация может быть продолжена?

После того, как трансформатор вышел с завода, механического состояния его обмоток может изменяться только в худшую сторону; главное на этом этапе - следить за его состоянием. Достоверная информация о текущем состоянии трансформатора особенно актуальна для трансформаторов, длительное время находящихся в эксплуатации, так как позволяет вовремя вывести из эксплуатации трансформатор до того, как изменение его механического состояния не станет опасным. С другой стороны, уверенность в отсутствии опасных изменений в состоянии трансформатора может служить основанием для продления сроков межремонтной эксплуатации оборудования, отказа от плановых ремонтных работ.

Электродинамические силы, возникающие при коротких замыканиях, могут привести к остаточным деформациям и, соответственно, к изменению изоляционных промежутков в обмотках, ослабляя, таким образом, электрическую прочность трансформатора в целом. При этом электрический пробой изоляции может произойти намного позже – при очередном перенапряжении либо перегрузке трансформатора. К сожалению, истинная оценка механического состояния обмоток трансформатора в эксплуатации довольно сложна и не всегда возможно даже при визуальном осмотре активной части. Представляет опасность не столько неправильная интерпретация результатов испытаний, сколько безапелляционный вывод об удовлетворительном состоянии трансформатора на основе проведенных испытаний.

¹ Drobyshevskiy_aa@ntc-power.ru

Многочисленные исследования показали, что получивший в последние годы широкое распространение метод частотного анализа (Frequency Response Analysis, FRA) обладает высокой чувствительностью к обнаружению изменений в механическом состоянии силового трансформатора, возникающих после воздействия токов КЗ. Однако основная проблема данного метода – отсутствие четких критериев, позволяющих интерпретировать результаты диагностики, идентифицировать характер повреждения, его размер и опасность для дальнейшей эксплуатации трансформатора.

Применение метода частотного анализа в России имеет длинную историю и базируется на применявшемся с 1975 года методе низковольтных импульсов (НВИ). За 25 лет применения метода НВИ в СССР и позже в России были проведены диагностические измерения более чем на 200 трансформаторах мощностью от 25 кВА до 400 МВА при их испытаниях на стойкость при КЗ в ВЭИ, на десятках трансформаторов (мощностью до 1000 МВА) в эксплуатации.

На базе накопленного опыта применения метода НВИ начиная с 2005 года в ВЭИ было разработано несколько поколений диагностических установок типа «Импульс», основанных на применении метода частотного анализа, создана обширная база данных. Диагностические установки на основе FRA применяются в настоящее время как в испытательных лабораториях (при испытаниях трансформаторов на стойкость при КЗ), так и в энергосистемах. Используются оба подхода, указанные в рекомендациях Публикации СИГРЭ №342: импульсный – с применением генератора прямоугольных импульсов, и частотный – с применением генератора изменяющейся частоты. Это позволило использовать достоинства обоих подходов, а главное – использовать на новом уровне критерии оценки состояния обмоток трансформаторов, наработанные ранее на основе огромного опыта диагностики методом НВИ при испытаниях на стойкость при КЗ, при диагностике в эксплуатации, при исследованиях на специальных моделях трансформаторов с имитацией дефектов. Эти критерии позволяют по результатам измерений методом FRA квалифицировать состояние диагностируемого трансформатора следующим образом:

Состояние 1: изменения в механическом состоянии обмоток трансформатора отсутствуют; возможно дальнейшее продолжение эксплуатации трансформатора без каких-либо ограничений;

Состояние 2: имеются начальные изменения механического состояния обмоток трансформатора, не представляющие непосредственной опасности для трансформатора; рекомендуется провести повторные измерения через какое-то время или после очередного близкого короткого замыкания;

Состояние 3: в трансформаторе имеется дефект; требуется более тщательное обследование трансформатора в объеме требований инструкции по эксплуатации.

В докладе представлен опыт применения FRA-анализа при испытаниях трансформаторов на стойкость при КЗ и при оценке их состояния в эксплуатации, показан подход к математическому моделированию обмоток силовых трансформаторов и реакторов с целью анализа их частотных характеристик в области высоких частот на основе разработанного авторами программного обеспечения. Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных на математических и физических моделях обмоток трансформаторов и направленных на развитие критериев оценки механического состояния обмоток и интерпретации результатов FRA-анализа.