

ВЕР ПАРАВЕЯ В ДИАГНОСТИКЕ СОСТОЯНИЯ ВИХРЕВОЙ СТРУКТУРЫ**Елгина Г.А., Ивойлов Е.В., Деева В.С.****научный руководитель д-р техн. наук Слободян С.М.*****Томский политехнический университет***

Общеизвестно, что испытания в режиме короткого замыкания являются одним из важных и широко распространённых способов диагностики электротехнических изделий и самой аппаратуры. Такие испытания позволяют, в меру своей эффективности, контролировать как параметры испытательного стенда, так и процессы, происходящие в испытуемом элементе, узле, блоке или самом испытуемом приборе.

Данные, полученные при измерении выбранных для контроля параметров объекта испытаний, характеризующих поведение протекающих в нём процессов и его состояние, служат основой для принятия решений о соответствии объекта диагностики понятию рабочего состояния или наличии проблем в испытуемом объекте контроля. Значение выбираемых параметров, метода, методик, правильности подхода и полученных данных в процессе проведения метрологических измерений трудно переоценить. Выбор наблюдаемых параметров и метода их получения при диагностике, например, трансформаторов в режиме короткого замыкания играет весьма важную роль. Поскольку в большинстве своём в электротехнической аппаратуре трансформаторный элемент как развязывающий или согласующий различные электрические цепи практически присутствует всегда. По нашему пониманию, трансформатор как элемент с вихревой кольцевой, можно сказать, спиралевидной топологии, проводящей ток, индуктивной структуры представляет собой объект с недоступной для непосредственного пространственного наблюдения и метрологии качества состояния внутренней структуры и происходящих в ней нарушений.

Поэтому для решения задач оценки состояния подобных структур вихревой топологии, часто применяют косвенные методы интегральной оценки состояния, то есть для получения некоторой общей оценки состояния усреднённой по пространству и времени наблюдения поведения такого объекта в процессе его эксплуатации. Диагностику проводят путем пропускания через структуру объекта (трансформатора) тестового сигнала (тока) некоторой заданной формы его параметров, и последующего анализа изменений заданных параметров тестового сигнала на его выходе. В частности, проверяется ток или напряжение, величина и форма огибающей или заполнения которых должна соответствовать требованиям ГОСТ или техническим условиям на диагностируемый элемент. Процесс формирования выходного сигнала трансформатора – объекта диагностики – из тестового сигнала является следствием отражения тех или иных уже произошедших или происходящих нарушений. В вихревой топологии индуктивной пространственной структуры выходной сигнал может иметь линейный, нелинейный, апериодический, так и колебательный характер. При наличии каких-либо нарушений вида короткого замыкания вихревой топологии, проводящей ток, индуктивной структуры они воздействуют на тестовый сигнал, приводя к различной деформации его формы, не всегда адекватно объясняемой в силу разных причин, из-за метрологической недоступности во внутреннее пространство области нарушений этой вихревой структуры. Такого рода проявления нарушений вихревой топологии могут приводить к неэквивалентности принятия решений о качестве состояния и нарушению принципа адекватности причин проявления данной деформации тестового сигнала.

Критерии эквивалентности полученной деформации тестового сигнала конкретной причине в момент её проявления не являются в таком случае достаточно достоверными, с точки зрения идентификации достоверного класса и типа дефекта вихревой топологии структуры индуктивного характера, оказывающего существенное влияние на скорость изменения параметров (как первой производной сигнала), в том числе и изменения фазы тестового сигнала.

Кроме того, в реальных индуктивной природы объектах с вихревой спиралевидной топологии структурой протекающие процессы прохождения тестового сигнала носят зачастую многочастотный характер проявления при нарушении структуры. Практический диапазон частот проявления искажений простирается на достаточно широкий диапазон вариаций спектра видоизменений тестового сигнала. Идентификация причин и конкретизация мест проявления таких нарушений, в большей своей части до сих пор, несмотря на интенсивные исследования, являются проблематичными. Это и определяет актуальность решения этих вопросов.

При диагностике электротехнического объекта и его элементов в режиме короткого замыкания регистрируется широкий перечень параметров, характеризующих состояние и правильность функционирования диагностируемого узла или самого объекта. Вариации величин измеряемых параметров являются быстроменяющимися с разнообразной и сложной формой. Результаты визуального контроля (с использованием электронного осциллографа) некоторых параметров для иллюстрации результата эксперимента приведены на рисунке 1.

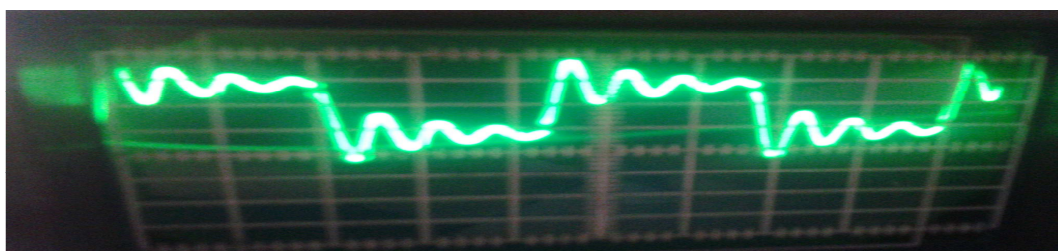


Рис. 1. Осциллограмма, полученная внутри вихревой взаимосвязанной индуктивной структуры при воздействии на её вход прямоугольной формы тестовых импульсов.

Результаты экспериментальных исследований показывают, что форма выходных сигналов при различных проявлениях короткого замыкания внутренней вихревой спиралевидной топологии, проводящей ток, индуктивной структуры весьма разнообразна. На практике имеет место весьма широкий спектр синусоидальных компонент смеси основной частоты с другими, в том числе и комбинационными гармониками, обусловленными нелинейностью трансформации тестового сигнала при его транспортировке внутри вихревой спиралевидной индуктивной структуры с нарушением однородности её топологии в виде короткого замыкания смежных витков.

Требования к точности воспроизведения измеряемых нарушений однородности методом короткого замыкания внутренней вихревой спиралевидной топологии индуктивной структуры в различных режимах до сих пор не сформулированы. Это объясняется трудностями выработки единых норм и требований, обусловленных отсутствием единого взгляда на методы обработки результатов измерений методом короткого замыкания, на способ оценки погрешностей получаемых результатов и требуемую точность измерений.

В процессе оценке параметров искажений тестового сигнала при наличии короткого замыкания вихревой топологии спиралевидной, проводящей ток, индуктивной структуры присутствуют амплитудные и фазовые динамические искажения и погрешности, вносимые как объектом диагностики, так и измерительной системой, в общем случае зависящие от частоты следования и формы тестового сигнала, а также особенностей конструкции объекта диагностики, например, трансформатора.

Точность воспроизведения импульсного тестового сигнала определяется видом короткого замыкания, изменяющим передаточную характеристику объекта диагностики, и передаточной характеристикой измерительной системы диагностики, позволяющей оценивать искажения формы тестового импульса на выходе объекта диагностики по сравнению с формой тестового импульса на его входе. Для проверки качества импульсных методов диагностики МЭК рекомендует определять переходную функцию – реакцию на единичную функцию тестового воздействия, подаваемого на вход объекта диагностики и

измерительной системы. Знание переходной функции объекта диагностики и измерительной системы позволяет (с помощью интеграла Дюамеля) определить реакции и объекта и системы диагностики на входной тестовый сигнал любой формы.

Другой способ оценки степени деформации тестового импульсного сигнала связан с частотными характеристиками объекта диагностики и измерительной системы. Это объясняется тем, что частотный спектр тестового импульса любой формы может быть представлен в виде бесконечного ряда гармоник, кратных основной частоте.

Практически для всех конструкций индуктивных электрических структур вихревой спиралевидной топологии их полное сопротивление, отнесённое к выходным зажимам (как N -полюсника) можно записать в виде

$$\dot{Z}_{\Sigma} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = k Z_0 \exp(j \varphi) .$$

Здесь: \dot{U} и \dot{I} – комплексное изображение измеряемого напряжения и тока; Z_0 – сопротивление постоянному току индуктивной структуры как токовой цепи; k – коэффициент масштаба представления единиц измерения с учётом фазового сдвига тока и напряжения на некоторый угол φ_{Σ} , который является функцией времени и особенностей проявления короткого замыкания вихревой топологии индуктивной структуры; $j = \sqrt{-1}$. Угол φ_{Σ} , на наш взгляд, весьма важный и чувствительный к проявлению короткого замыкания вихревой топологии индуктивной структуры параметр. В общем случае:

$\varphi_{\Sigma} = \sum_i \varphi_i$, где φ_i – величина фазового набега, приобретаемого тестовым сигналом при

прохождении траектории единичного i -го витка вихревой индуктивной структуры. В однородной вихревой индуктивной структуре (при отсутствии короткого замыкания витков) значение φ_i детерминировано определено известными в литературе выражениями, учитывающими конструктивные особенности вихревой структуры. В частном случае однородной линейной однослойной вихревой N – витковой индуктивной структуры $\varphi_i = \varphi_1$ (φ_1 – фазовый набег на единичном витке) и $\varphi_{\Sigma} = N\varphi_1$. В случае многослойной вихревой индуктивной структуры $\varphi_i \neq \varphi_1$, даже при отсутствии короткого замыкания витков.

Проведённый анализ возможных комбинаций закономерностей изменения фазового набега меняющих тестовый, не обязательно импульсный, сигнал, показал, что поведение закономерности фазовых искажений, приобретаемых тестовым сигналом при прохождении вихревой индуктивной структуры, иллюстративно можно представить в виде китайского веера. Отдавая высокую степень уважения активному члену Парижской Академии наук Паравею К.-И. (род. в 1787 г.), который занимался исследованиями в области астрономии и древней математики (его статьи помещены "Comptes Rendus" Парижской академии наук) и уделившего много внимания истории изобретения пороха в Китае, назовём такое представление функции изменения фазового набега при транспорте тестового сигнала вихревой структурой веером Паравея. Веер Паравея иллюстративно физически достаточно точно отражает поведение закономерности изменения фазовых искажений, приобретаемых тестовым сигналом при прохождении вихревой структуры, в выходном сигнале системы диагностики. При отсутствии нарушений и однородности вихревой структуры – лепестки веера Паравея раскрыты равномерно одинаково. При нарушении однородности вихревой индуктивной структуры, даже при отсутствии короткого замыкания витков, раскрытие лепестков веера Паравея будет периодически локально однородным. Наличие короткого замыканий витков в однородной линейной вихревой топологии индуктивной, проводящей ток, структуре приведёт к трансформации структуры пространственного раскрытия лепестков веера Паравея в области короткого замыкания. Вид и степень меры короткого замыкания определит образ пространственной трансформации данной локальной группы лепестков веера Паравея.