МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОДНОСТУПЕНЧАТОГО ИМПУЛЬСНОГО ДЕФЕКТОГРАФИРОВАНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОБМОТОК ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

И.А. Кавун

Томский политехнический университет, ИШЭ, ОЭЭ, группа А2-42

Научный руководитель: А.В. Мытников, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ

Метод низковольтных импульсов (НВИ) или технология импульсного дефектографирования практически с момента создания стал основным для диагностики обмоток силовых высоковольтных трансформаторов [1–3]. Деструкция высоковольтной изоляции в обмотках силовых трансформаторов и электрических машин часто становится причиной аварий с серьезными последствиями [4–6]. Существующие методы диагностики обмоток, не смотря на их большое многообразие, далеко не всегда позволяют своевременно обнаружить дефект, и поэтому количество аварий увеличивается. Срок службы многих высоковольтных аппаратов не достигает проектного срока службы именно из-за несвоевременного обнаружения дефектов изоляции обмоток как в следствие механического смещения, так и в результате образования короткозамкнутых витков. Несмотря на большое количество методов диагностики обмоток силовых высоковольтных трансформаторов, каждый способ имеет недостатки, связанные с большой погрешностью, неспособностью выявить дефект на ранней стадии развития [7]. Даже усовершенствованный и признанный в мире классический метод НВИ, названный метод частотного анализа требует отключения обследуемого трансформатора от высоковольтной сети и наличия специальных данных – нормограмм, которые отсутствуют для подавляющего числа трансформаторов. Поэтому, разработка технологии контроля состояния обмоток трансформаторного оборудования в эксплуатации в режиме on-line является актуальной задачей.

Одним из путей решения проблемы является исследование и разработка метода одноступенчатого импульсного дефектографирования. Суть метода состоит в применении только первой ступени классического импульсного дефектографирования, а именно, зондирующего импульса подача и регистрация которого позволяет обнаружить дефект в обмотке. Нами были выполнены эксперименты направленные на выяснение возможности одноступенчатого дефектографирования, результаты которых позволяют рассматривать предложенный нами метод как путь радикального совершенствования процесса диагностики трансформаторного оборудования [8–10].

Одной из проблем технического свойства является необходимость искусственного создания различных дефектов обмотки. Поскольку дефектов с учетом степени развития каждого дефекта и большого числа их возможных взаимных комбинаций необходимо множество, то этот факт делает эксперименты сложными. В каждом случае необходимо изготавливать искусственные дефекты в различных частях обмотки. При работе на реальных трансформаторах данный факт сильно усложняет задачу, так как обмотка не может быть восстановлена до первоначального штатного рабочего состояния. Математическая модель, воплощенная в программной среде, позволила бы при каждом этапе экспериментов, моделировать практически неограниченное число дефектов, в самых различных комбинациях между собой, что достаточно часто встречается на практике.

С целью оптимизации задачи, нами была подготовлена модель процесса диагностики обмоток трансформатора, включающая генератор зондирующих импульсов наносекундного диапазона и собственно обмотки трансформатора. Внешний вид модели, выполненной с программной среде Microcap, приведен на рис. 1.

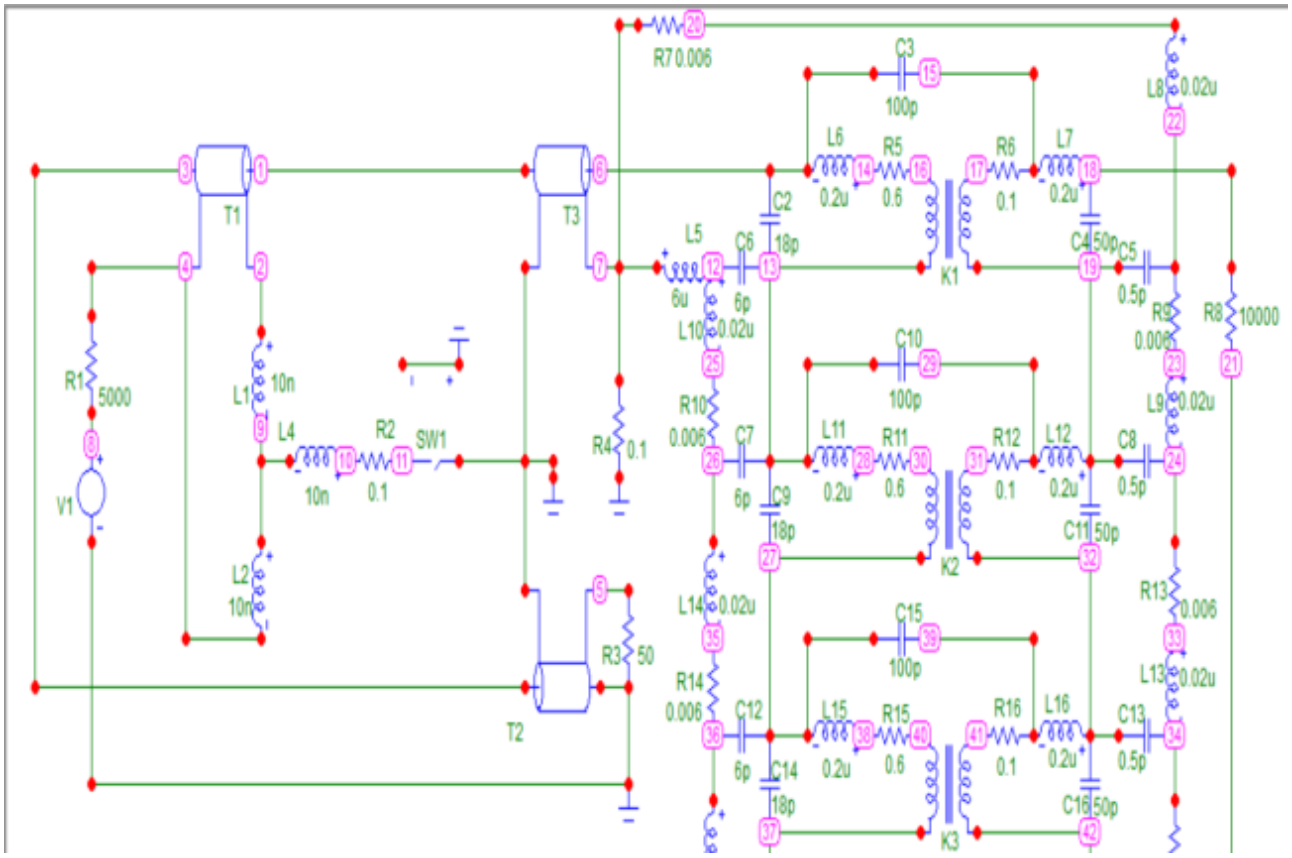

Рис. 1. Вид модели процесса диагностики обмотки высоковольтного силового трансформатора для исследования одноступенчатого режима дефектографирования.

Левая часть модели содержит схему генератора зондирующих импульсов. В состав генератора на модели входят трансформаторы Т 1-3, резисторы, индуктивности L1-4. Правая часть – модель обмотки трансформатора, причем слева представлена высоковольтная обмотка. Справа находится обмотка низкого напряжения. Составные части модели собственно обмотки, это конденсаторы С6, С7 и С12, изменение емкости которых позволяет имитировать радиальное смещение витки обмотки, а конденсаторы С2, С9 и С14 изменение емкости которых позволяет имитировать аксиальное смещение витки обмотки. Если аксиальное смещение витки обмотки очевидно, то есть соседние витки постепенно сближаются, то в конце возможно образование короткозамкнутых витков, что также может быть реализовано на модели путем подстановки сопротивлений равными 0.

В процессе моделирования осциллограф подключается между точками модели 6 и 7 и можем наблюдать форму сигнала входного импульса. Другое подключение выполняется между точками схемы 23 и 24, и можно наблюдаем за сигналом, имеющим место только в данной точке схемы. На рис. 2 показана форма зондирующего импульса, полученная при моделировании исправного состояния трансформатора. На рис. 3 продемонстрирована ситуация, при которой в обмотке высокого напряжения создан дефект типа «радиальное смещение витков обмотки». Указанный дефект был реализован путем изменения значения емкостей С6, С7 и С12 в сторону увеличения, что соответствует при смещении витков обмотки в направлении перпендикулярном оси симметрии обмотки. Необходимо отметить, что данный дефект достаточно часто формируется в начале обмотки высокого напряжения, и его своевременный контроль необходим для предотвращения полной потери механической устойчивости обмотки. Разница в формах импульса позволяет обнаружить характерные изменения в формах сигнала зондирующего импульса визуально. При необходимости возможно разложение полу-

ченных сигналов в частотный спектр для более тщательного и детального анализа ситуации в обмотке. Однако, как видно из сравнения сигналов на рис. 2 и 3, можно совершенно четко визуально зафиксировать разницу между дефектным и исправным состоянием.

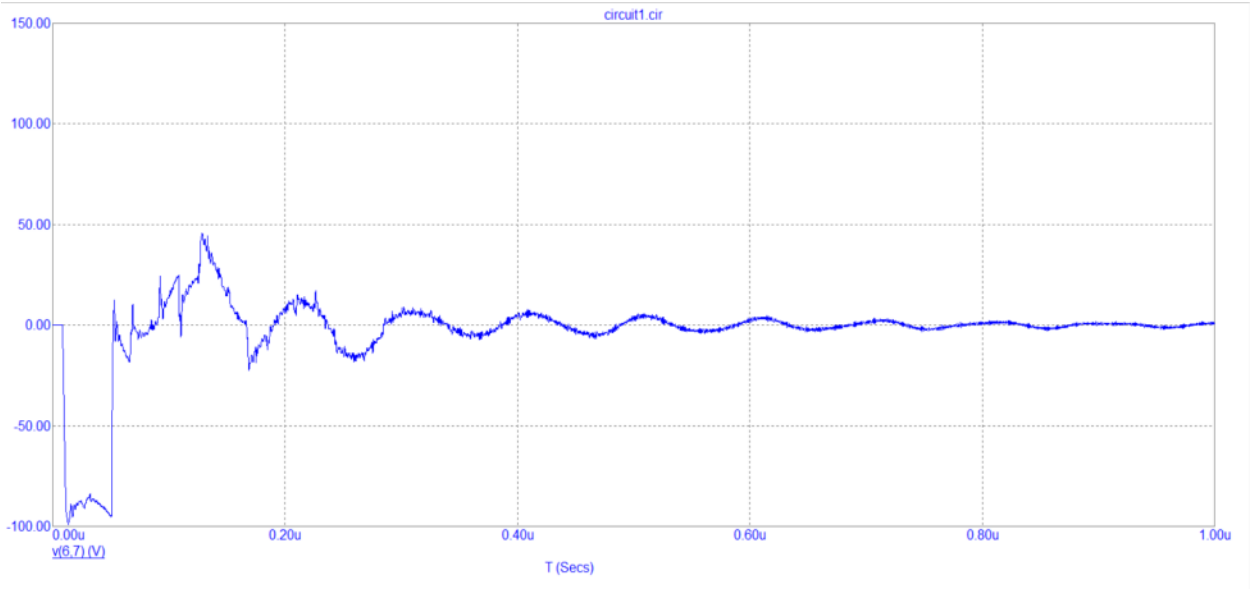

Рис. 2. Форма зондирующего импульса, полученная исправной обмотке. Дефектов нет

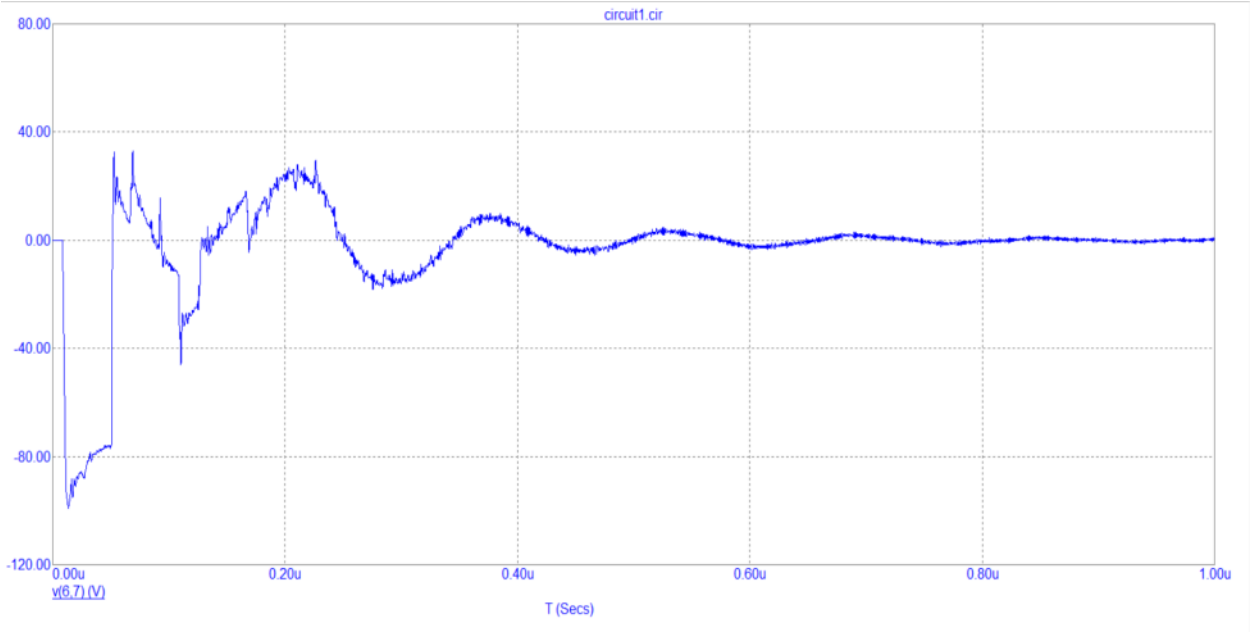

Рис. 3. Форма зондирующего импульса, полученная при дефекте типа «радиальное смещение обмотки»

Дальнейшее исследование предполагает детальное исследование процесса обнаружения дефектов обмотки – радиальное и аксиальное смещение витков в различных частях обмотки с разной степенью смещения, короткозамкнутые витки обмотки и различные взаимные комбинации дефектов. На основе пробных модельных экспериментов можно сделать следующие выводы: импульсное зондирование обмотки трансформаторов используя только первую ступень – собственно зондирующий импульс – позволяет обнаруживать дефект обмотки типа радиальное смещение витков обмотки только за счет визуального контроля степени дефор-

мации формы зондирующего импульса. Деформация формы импульса происходит от начальной формы под воздействием формирующегося дефекта.

Таким образом, модель диагностической процедуры, предложенная в данной работе, позволяет проводить всесторонние исследования импульсного дефектрографирования в одноступенчатом режиме, не привлекая сложное и дорогостоящее оборудование, которое неизбежно приходится задействовать при проведении исследования подобного рода. Модель, включающая как генератор зондирующих импульсов, так и собственно обследуемую обмотку, позволяет моделировать самые различные дефекты обмотки в любых вариациях и взаимных комбинациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лех В., Тымински Л. Новый метод индикации повреждений при испытании трансформаторов на динамическую прочность // Электричество – 1966. – Т. 1. – № 1. – С. 77–81.
2. Хренников А.Ю., Киков О.М. Диагностика силовых трансформаторов в Самараэнерго методом низковольтных импульсов // Электрические станции – 2003. – № 11. – С. 49–51.
1. Аликин С.В., Дробышевский А.А., Левицкая Е.И., Филатова М.А. Диагностика обмоток силовых трансформаторов методом низковольтных импульсов // Электротехника – 1991. – № 12. – С. 30–35.
3. Анализ причин повреждений и результаты обследования технического состояния трансформаторного оборудования / В.С. Богомолов, Т. Е. Касаткина, С.С. Кустов // Вестник ВНИИЭ. – 1997. – С. 25–32.
6. Повреждаемость маслонаполненного оборудования электрических сетей и качество контроля его состояния / М.И. Чичинский // Энергетик. – 2000. – № 11. – С. 29–31.
7. Оценка технического состояния электрооборудования энергосистем и определение перспектив надежной работы ЭЭС России / А.Ю. Хренников // Электрические станции – 1999. – № 8. – С. 67–70.
8. Цурпал С.В. Причины повреждаемости и меры по повышению надежности мощных силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов // Материалы X Международной научно – технической конференции. – Запорожье: Запорожский трансформаторный завод, 2000. – С. 122–126.
9. Кавун И.А., Мытников А.В. Инновационная методика диагностики трансформаторов на основе импульсного дефектографирования // Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте: материалы XVI Международной научно–технической конференции. – Вологда: Вологодский государственный университет. – Вологда: ВоГУ, 8 декабря, 2021. – С. 137–142. ISBN 978-5-907606-00-5
10. Кавун И.А., Мытников А.В. Исследование путей повышения эффективности диагностики обмоток высоковольтных силовых трансформаторов зондированием низковольтными импульсами в одноступенчатом режиме // II Всероссийская с международным участием молодёжная конференция. – Томск: Томский политехнический университет. – 2022. С. 574–576.
11. Кавун И.А., Мытников А.В. О совершенствовании технологии импульсного дефектографирования обмоток высоковольтных силовых трансформаторов // Электротехника – 2023. – № 2. – С. 51–54.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НАГРЕВА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА НА ЁМКОСТНЫЙ ДАТЧИК В СИСТЕМЕ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ МАСЛОНАПОЛНЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Е.М. Конев

Алтайский Государственный Технический Университет им. И.И. Ползунова, ЭФ, ЭПБ, группа 8Э-32

Научный руководитель: Б.С. Компанеец, к.т.н., зав. кафедры ЭПБ АГТУ

В настоящее время энергетический комплекс России ведет активную модернизацию оборудования на всех классах напряжений. Задачи по цифровизации и автоматизации работы всей единой энергосистемы чётко отражены в энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года [1]. Разработка новых технических решений, на базе отечественных приборов и оборудования, направленных на автоматизацию, диспетчеризацию, цифровизацию является приоритетной задачей. Технологические возможности 21-ого века