

В Республике Беларусь первый масляный трехфазный трансформатор типа ТМГ24-400/10 с витым магнитопроводом из аморфного сплава был изготовлен на Минском электротехническом заводе. Благодаря инновационным технологиям, используемым при изготовлении трансформатора, удалось добиться существенного улучшения его технических показателей, характеризующих энергоэффективность [3].

В частности, первый трансформатор имел следующие характеристики: $S_{\text{ном}} = 400 \text{ кВ} \cdot \text{А}$; $\Delta P_x = 0,29 \text{ кВт}$; $\Delta P_k = 5,8 \text{ кВт}$; $I_x = 0,3 \%$; $U_k = 4,5 \%$.

Если сравнивать ТМГ24-400/10 с трансформаторами такой же мощности других типов, то можно заметить, что он имеет значительное превосходство по показателям холостого хода (ХХ). Например, его значение ΔP_x примерно в три раза меньше, чем у трансформатора ТМГ11-400/10.

Трансформаторы с магнитопроводами из АС имеют высокую энергоэффективность, так как их потери ХХ составляют примерно 1/3 от потерь холостого хода трансформаторов с сердечником из холоднокатаной электрической стали.

В то же время трансформаторы данной конструкции обладают и рядом недостатков. Существенным недостатком магнитопроводов из АС является их более высокая стоимость по сравнению с сердечниками из традиционных материалов. Кроме того, аморфная сталь имеет толщину 25–30 мкм, большую твердость и хрупкость. Последний фактор усложняет сборку магнитопровода.

Таким образом, применение трансформаторов с магнитопроводами из АС позволяет снизить потери мощности и электроэнергии в системах электроснабжения объектов разного назначения, а также связанные с электропотреблением технико-экономические показатели промышленного предприятия: плату за электропотребление, энергетическую составляющую себестоимости продукции, выброс CO_2 в атмосферу и др.

Литература

1. Печенкин, В. И. Силовые «аморфные» трансформаторы. Будущее в настоящем / В. И. Печенкин // Электротехн. рынок. – 2012. – № 5/6 (47, 48). – С. 46–47.
2. Войтюлевич, О. А. Трансформаторы с аморфным магнитопроводом / О. А. Войтюлевич, С. Г. Гапанюк // Актуальные проблемы энергетики : материалы науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, Минск, 2017 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2017. – С. 409–412.
3. Сорока, А. В. Применение распределительных трансформаторов с магнитопроводом из аморфной стали / А. В. Сорока, В. Н. Радкевич // Актуальные проблемы энергетики : материалы науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, Минск, 2017 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2017. – С. 494–499.

ДИАГНОСТИКА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

А. Ю. Гурьянов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Т. В. Алфёрова

Основной целью технической диагностики является, в первую очередь, распознавание состояния технической системы в условиях ограниченной информации, и как следствие – повышение надежности и оценка остаточного ресурса оборудования.

Неотъемлемый элемент при централизованном электроснабжении является трансформатор. Выход из строя силового трансформатора может привести к созданию аварийных ситуаций, перебоям электроснабжения, массовому недоотпуску про-

дукции, сопровождающимся значительным экономическим и экологическим ущербом. Поэтому контроль состояния трансформатора является важной задачей.

Диагностика трансформаторов сегодня – довольно долгое и затратное мероприятие. Часто необходимо провести целый ряд непростых испытаний, так как современные методы диагностики не всегда однозначно указывают на место и вид дефекта. Надежность трансформатора в значительной степени определяется надежностью обмоток, которая, в свою очередь, зависит от состояния изоляции. Изоляция работает в сложных, часто весьма неблагоприятных условиях. В процессе эксплуатации оборудования, а также во время его хранения и транспортировки оно подвергается разнообразным внешним воздействиям, приводящим с течением времени к прогрессирующему ухудшению свойств изоляции.

Основные причины возникновения межвитковых замыканий в трансформаторе – старение изоляции, перенапряжения или низкая организация производства и эксплуатации. Классификация факторов, влияющих на возникновение замыканий, приведена на рис. 1, анализ которых показывает, что причины нарушения изоляции могут быть связаны или могут проявляться обособленно, что затрудняет поиск решения по защите обмоток трансформаторов от межвитковых замыканий [1].

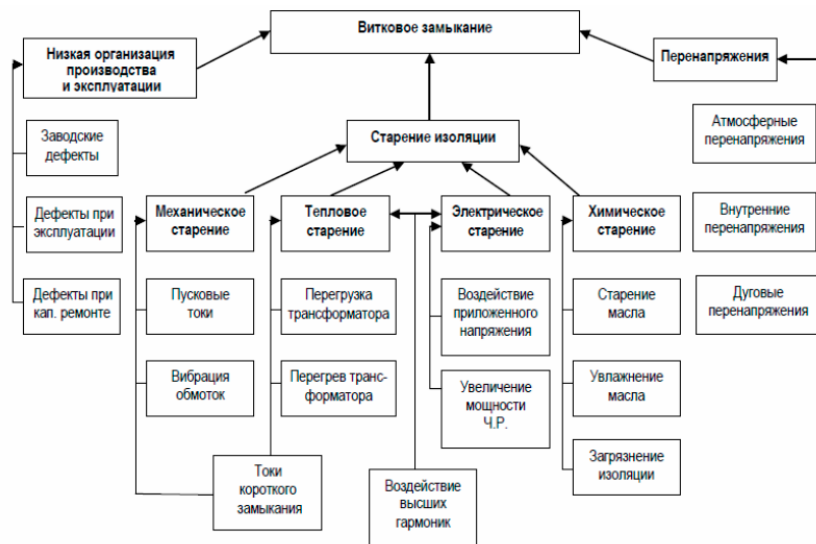


Рис. 1. Классификация факторов, влияющих на возникновение межвитковых замыканий трансформаторов

В процессе эксплуатации трансформаторного оборудования наблюдается старение и износ его элементов. В связи с этим необходимо отметить, что задача системы мониторинга заключается не только в адекватном отображении состояния трансформаторного оборудования с целью предотвращения аварийного выхода его из строя, но также и в продлении срока службы за счет оптимизации рабочих параметров.

Основным параметром, ограничивающим срок службы трансформатора, является состояние его твердой изоляции, характеризуемое относительной скоростью термического износа [2].

Среди различных факторов, определяющих срок службы изоляции трансформаторов, один из основных – старение изоляции под действием температуры. Это явление лучше других поддается количественному учету, а поэтому сравнительно подробно исследовано.

С точки зрения температурных воздействий на изоляцию различают понятия «теплоустойчивость» и «нагревостойкость». Поскольку нагревостойкость определяется скоростью старения изоляции в условиях повышенных температур, особое значение приобретают методы расчета скорости старения и на этой основе – срока службы изоляции.

Экспериментальные исследования выполнялись на базе лаборатории кафедры электротехники БелГУТа [3].

Объектом испытания является физическая модель силового трансформатора – однофазный трансформатор небольшой мощности с воздушным охлаждением.

Цель испытания – замыкание витков на первичной и вторичной обмотках трансформатора, а также фиксирование изменения температуры на обмотках трансформатора.

Для проведения эксперимента использовалось оборудование, представленное на рис. 2 (ЛАТР SUNTEK, 2 стрелочных вольтметра, 2 стрелочных амперметра, однофазный трансформатор с воздушным охлаждением, нейросетевой газоанализатор, пирометр). В качестве нагрузки использовались промышленные лампы накаливания.

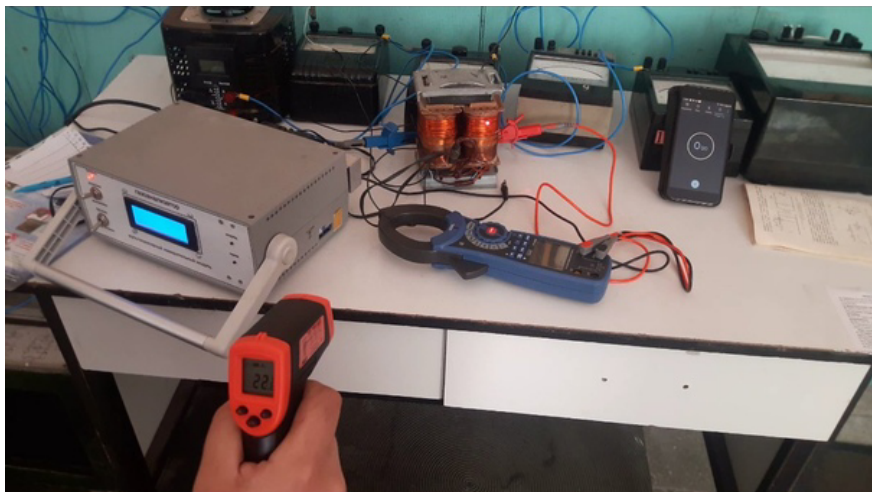


Рис. 2. Оборудование, применяемое в ходе эксперимента

В ходе эксперимента на первичной и вторичной обмотках трансформатора поочередно устраивалось замыкание двух и трех витков между собой. Для качественного анализа нагрева обмоток измерялась их температура при нормальном режиме работы трансформатора, при коротких замыканиях первичной и вторичной обмоток.

Анализ полученных результатов показал:

– итоговые значения токов отличаются даже при замыкании малого количества витков на первичной обмотке; при замыкании витков на вторичной обмотке значения отличаются, но незначительно. Следовательно, замыкание витков на первичной обмотке в реальных условиях более опасно, чем замыкание витков на вторичной обмотке трансформатора при условии замыкания небольшого количества витков;

– в реальных условиях при большом количестве замыканий витков на вторичной обмотке трансформатора значения токов будут значительно отличаться от значений при работе трансформатора под нагрузкой без замыкания витков;

– температура обмоток росла одинаково по времени, но ее значения при замыкании вторичной обмотки выше, чем при замыкании первичной;

– при нормальной работе трансформатора произошел небольшой скачок температуры, а при замыканиях как первичной, так и вторичной обмоток, наблюдался ее плавный рост.

Для создания диагностических устройств и программно-аппаратных комплексов желательно использовать искусственные нейронные сети, которые являются мощным средством распознавания и прогнозирования сигналов, а их способность к обучению дает возможность разрабатывать адаптивные системы защиты и диагностики трансформаторов.

Для анализа данных, полученных с помощью приборного учета, и классификации неисправностей в программе MATLAB была реализована сверточная нейронная сеть (СНС), позволяющая контролировать состояние трансформаторов в режиме реального времени, не выводя его из работы. СНС имеет специальную архитектуру, которая позволяет ей максимально эффективно распознавать образы. Сама идея СНС основывается на чередовании сверточных и субдискретизирующих слоев (pooling), а структура является однонаправленной. СНС получила свое название от операции свертки, которая предполагает, что каждый фрагмент изображения будет умножен на ядро свертки поэлементно, при этом полученный результат должен суммироваться и записываться в похожую позицию выходного изображения. Такая архитектура обеспечивает инвариантность распознавания относительно сдвига объекта, постепенно укрупняя «окно», на которое «смотрит» свертка, выявляя все более и более крупные структуры в изображении.

Правильность выходных данных, реализованная с помощью СНС, составила 95 %.

Практическая реализация СНС при соответствующей доработке позволит:

- диагностировать и локализовать неисправности трансформаторов;
- снизить количество unplanned отказов трансформаторов и продлить их срок службы за счет оптимизации рабочих параметров;
- повысить надежность систем электроснабжения.

Л и т е р а т у р а

1. Шерьязов, С. К. Классификация факторов, влияющих на витковые замыкания в трансформаторах напряжением 6–10/0,4 кВ / С. К. Шерьязов, А. В. Пятков // Вестн. КрасГАУ. – 2014. – № 7.
2. Бережной, А. В. Применение нейронных сетей для моделирования относительной скорости износа изоляции трансформаторного оборудования / А. В. Бережной, Е. Г. Дашевский // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Техн. науки. – 2010. – № 5. – С. 44–46.
3. Галушко, В. Н. Повышение надежности трансформаторов с помощью комплексного анализа данных приборного учета при межвитковых коротких замыканиях / В. Н. Галушко, И. Л. Громыко, С. И. Зайцев // Вестн. Белорус. гос. ун-та транспорта. Наука и транспорт. – 2021. – № 2 (39). – С. 31–37.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕОРИИ КАТАСТРОФ ДЛЯ ЗАДАЧ ЭНЕРГЕТИКИ

К. В. Керус

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Т. В. Алфёрова

С учетом технического прогресса и новейших разработок в сфере автоматизации электроснабжения острыми становятся вопросы не только обеспечения потребителей электроэнергией должного качества, но и также вопросы устойчивости элек-