

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ МЕЖВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В. Н. ГАЛУШКО, А. Н. ПЕХОТА, И. Л. ГРОМЫКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В большей части нашего электрифицированного мира современные сети были построены еще в 1950–1970-х годах. Сегодня значимое для работы сетей оборудование (силовые трансформаторы), приближается к концу своего срока службы. Тем не менее из-за дорогостоящей модернизации инфраструктуры, сетевые компании вынуждены продолжать работать с оборудованием, которое уже выработало свой расчетный срок службы. Эта тенденция представляет растущую угрозу для надежности и безопасности сети. В нашей стране также сказывается отсутствие серьезных инвестиций на протяжении периода с 1991 по 2001 год.

Со временем рост потребления поднимает ежегодные затраты на обеспечение работоспособности сети. Если не решать эту проблему, то рост потребления может привести к возникновению больших проблем у сетевой компании в моменты пиковых нагрузок. В крайних случаях придется отключать клиентов, чтобы избежать перегрузки сети.

Опыт развитых стран только подтверждает актуальность данных выводов. Например, в Италии прекращение подачи электроэнергии в июне 2003 г. оставило практически все 57 млн граждан без электроэнергии, а в августе 2003 г. большая часть США и Канады пережили отключение электроэнергии [1].

Нейронная сеть принимает решения при множестве заданных условий [2]. Искусственные нейронные сети, подобно биологическим, являются вычислительной системой с огромным числом параллельно функционирующих простых процессоров с множеством связей. Несмотря на то, что при построении таких сетей обычно делается ряд допущений и значительных упрощений, отличающих их от биологических аналогов, искусственные нейронные сети демонстрируют удивительное число свойств, присущих мозгу: обучение на основе опыта, обобщение, извлечение существенных данных из избыточной информации. Обученная сеть может быть устойчивой к некоторым отклонениям входных данных, что позволяет ей правильно «видеть» образ, содержащий различные помехи и искажения.

Преимущества нейронных сетей перед традиционными вычислительными системами: решение задач при неизвестных закономерностях; устойчивость к шумам во входных данных; приспособление к изменениям окружающей среды; потенциальное сверхвысокое быстродействие; отказоустойчивость при аппаратной реализации нейронной сети.

Отслеживая в режиме реального времени с помощью нейронных сетей возможные текущие сбои, операторы могут производить разделения и переключения внутри сети, чтобы сбой не перегружали критические компоненты и можно было отложить обновление распределительной аппаратуры, необходимой для ликвидации сбоев и перегрузок и для ограждения тех областей, где возникает даже низкая вероятность опасного сбоя [3]. Данные чувствительных датчиков помогают отправлять в зоны сбоев техников, обеспеченных необходимым оборудованием, что позволяет сократить время восстановления после аварий в сети. Контроль над потоками электроэнергии в режиме реального времени также позволяет сетям управлять распределенной генерацией электроэнергии.

Удаленный мониторинг оборудования может продлить срок использования критически важной сетевой инфраструктуры и улучшить обслуживание благодаря предупреждению сбоев.

Во-первых, удаленные датчики могут отслеживать, соответствует ли нагрузка в сети ее мощностям и предупреждать операторов.

Во-вторых, датчики могут отслеживать, когда участки сети начинают давать сбои, например, когда механические переключатели, регулирующие напряжение в трансформаторах, нуждаются в обслуживании или когда изоляция трансформатора начинает разрушаться (чаще всего – по причине длительного перегрева).

Определение состояния защищаемого объекта полностью соответствует задаче распознавания образов в общем виде. Ранее известные принципы обнаружения короткого замыкания, например, максимальный ток, минимальное напряжение, использование производной тока по времени, взятые несколько параметров, существенно повышается чувствительность и устойчивость функционирования защиты.

В силовых трансформаторах с масляным охлаждением данный дефект обнаруживается по выделению горючего газа в газовом реле и работе реле на сигнал или отключение. В сухих трансформаторах вопрос определения замыкания между витками обмоток актуален и может привести к unplanned выходу из строя трансформатора и отключению потребителей от системы электроснабжения.

Данное повреждение может быть вызвано недостаточной изоляцией переходных соединений, продавливанием изоляции витков при опрессовке или из-за заусенцев на меди витка, механическими повреждениями изоляции, естественным износом, перенапряжениями, электродинамическими усилиями при коротких замыканиях и т. д.

По замкнутым накоротко виткам проходит ток большей силы, причем ток в фазе может лишь незначительно возрасти; изоляция витков быстро сгорает, могут выгорать сами витки, причем возможно разрушение и соседних витков.

Если число замкнутых витков значительно, то в короткий промежуток времени обмотки и магнитопровод сильно нагреваются. Замыкание между витками также сопровождается уменьшением сопротивления фазы, где возникло замыкание.

В качестве объекта исследования использовался однофазный трансформатор. При проведении опытов изменялась нагрузка при неизменном $\cos\varphi_2$ и производились короткие замыкания одного, трех и пяти витков на первичной и вторичной обмотках. Производилось измерение: токов, активных, реактивных и полных мощностей, $\cos\varphi_1$, $\cos\varphi_2$, температуры обмоток в месте замыкания, напряжений, с помощью датчика дыма «умный нос» контролировалось появление фракций в воздухе.

На основании экспериментов установлено, что при межвитковом коротком замыкании увеличивается активная мощность первичной обмотки и $\cos\varphi_1$, происходит скачок температуры (за время 5–15 с рост составил более 30 °С). Следовательно, активные мощности, токи, $\cos\varphi_1$, температуру и датчик дыма следует учитывать при детектировании межвиткового замыкания, используя ИНС. Был разработан программно-аппаратный комплекс диагностирования межвиткового замыкания в программе Matlab 17, который был обучен для однофазного воздушного трансформатора мощностью 280 В·А. Затем проведен этап верификации и апробации результатов, который подтвердил диагностирование межвиткового замыкания даже для двух витков.

Полученные результаты и аналитическая модель стали основой лабораторной работы для дисциплины «Математические модели ЭПС». Отслеживая в режиме реального времени возможные текущие сбои, можно снизить количество unplanned ремонтов и отказов указанного оборудования.

Список литературы

1 Построение интеллектуальной электрической сети для передающих и распределительных энергокомпаний // IVMBusinessConsultingServices. – М., 2005. – 20 с.

2 **Галушко, В. Н.** Прогнозирование потребления электрической энергии дистанции электроснабжения с помощью искусственных нейронных сетей / В. Н. Галушко, А. В. Дробов, И. Л. Громыко // Проблемы безопасности на транспорте : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Ч. 1. – Гомель : БелГУТ, 2019. – С. 274–275.

3 **Каменев, А. С.** Нейромоделирование как инструмент интеллектуализации энергоинформационных сетей / А. С. Каменев, С. Ю. Королев, В. Н. Сокотуценко ; под ред. В. В. Бушуева. – М. : Энергия, 2012. – 124 с.

УДК 628.3

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТНОГО СОРБЕНТА ИЗ ОСАДКОВ ОЧИСТКИ ПРОМЫВНЫХ ВОД ФИЛЬТРОВ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ

О. Н. ГОРЕЛАЯ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Отходы производства на сегодня стали одним из глобальных факторов, влияющих на качество жизни современного общества. Одним из положительных аспектов стало вовлечение их в хозяйственный оборот, причем с целью не только уменьшения количественных показателей самих объемов образующихся отходов и снижения их негативного влияния на окружающую среду, но и потребления неиспользованного сырья, в том числе и полезных ископаемых.