

# ДИАГНОСТИКА ТРАНСФОРМАТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРНОГО УЧЕТА ДАННЫХ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Белькин В. О., Громыко И. Л.

Кафедра электротехники, Белорусский государственный университет транспорта  
Гомель, Республика Беларусь

E-mail: Belskin.blad@yandex.by, ivangromyko95@mail.ru

*В работе представлен современный метод технической диагностики трансформаторов с помощью компьютерного анализа данных и сверточных нейронных сетей. Применение искусственного интеллекта позволит в режиме реального времени, не выводя оборудование из работы, анализировать информацию, классифицировать различные отклонения и диагностировать дефекты.*

## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день большинство трансформаторов системы электроснабжения железнодорожной отрасли страны отработали установленный срок службы – 25 лет. В соответствии с положением разработан новый комплексный метод технической диагностики, который позволяет повысить надежность работающих трансформаторов; сократить время ремонтов; увеличить срок службы трансформаторов; значительно сократить стоимость ремонтных работ.

## I. ОПИСАНИЕ МЕТОДА ДИАГНОСТИКИ И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Суть метода заключается в следующем: первичные преобразователи подключаются к трансформатору, регистрируют параметры и отправляют сигнал в базовый блок микроконтроллера прибора, в котором искусственный интеллект сравнивает измеренные значения с заданными и классифицирует неисправность. При проведении эксперимента в трансформатор одновременно вводились неисправности и в режиме реального времени классифицировался тот или иной режим работы электрической машины с помощью нейромоделирования. В тоже время проводился анализ информации с использованием следующих данных:

- напряжений и токов первичной и вторичной обмоток;
- активные, реактивные и полные мощности по высокой и низкой стороне трансформатора;
- анализировался состав окружающего воздуха на наличие частиц задымления от лака и бумажной изоляции с помощью устройства “электронный нос”;
- измерялась температура в зоне КЗ и на удалении 5 см от обмоток;
- проводилось осциллографирование и разложение по гармоникам кривых тока и напряжения;
- выполнено более 500 измерений при нормальном режиме работы и в режиме неисправности.

В качестве объекта исследования использовались однофазные трансформаторы малой мощности с воздушным и масляным охлаждением, применяемые при продольном электроснабжении железнодорожных потребителей и в линиях автоматической блокировки.

## II. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УСТРОЙСТВА

Микропроцессорное устройство (рис. 1) включает следующее оборудование: датчики; часы реального времени; модернизированный под микропроцессорное устройство пробник Паздникова; платы Z7-Lite 7010.



Рис. 1 – Внешний вид микропроцессорного устройства

Применяемые датчики:

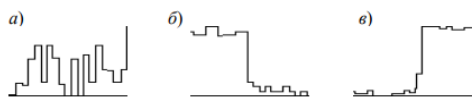
1. Датчики температуры MLX90614ESF (более трех). Это инфракрасный термометр для бесконтактных измерений температуры. Датчик измеряет температуру объекта бесконтактным способом и температуру окружающей среды на кристалле датчика;
2. Датчик температуры, давления и влажности BME280;
3. Энергометры PZEM-004t-100A (шесть). Данный энергометр позволяет измерять переменные ток, напряжение, активную мощность, электроэнергию, частоту;
4. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) ADS1115.

Пробник Паздникова. Предназначен для проверки обмоток трансформаторов, дросселей, электродвигателей, реле, магнитных пускателей, контакторов и других катушек. Пробником уда-

ется определить не только целостность обмотки, но и наличие в ней короткозамкнутых витков. В качестве основы микропроцессорного устройства использовалась плата Z7-Lite 7010. Это программноаппаратная платформа, предназначенная для приема, анализа, хранения и передачи информации. На данной программноаппаратной платформе был разработан одноплатный компьютер, который принимает информацию с датчиков, обрабатывает её, анализирует и затем через локальную сеть выводит на экран получившиеся результаты. Основой данной платы служит программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС) XCZCLG400-1. Для данной интегральной схемы, в САПР Vivado 2018.3 был разработан блок-дизайн программной части микропроцессорного устройства.

### III. КЛАССИФИКАЦИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Для классификации неисправностей используется нейронная сеть, которая в режиме реального времени анализирует информацию, не выводя трансформатор из работы, что предоставляет дополнительные возможности в обеспечении низкого уровня безаварийности и соблюдения режимов бесперебойного электроснабжения. При этом затраты на внедрение данной технологии нейромоделирования относительно невелики, а эффективность от применения будет существенной. Примеры изображений, которые передаются на нейронную сеть, отвечающую за идентификацию по отношению напряжений, приведены на рисунке 2.



(а) - нормальный режим работы, (б) - МКЗ на первичной обмотке, (в) - МКЗ на вторичной обмотке

Рис. 2 – Изображения на входе нейронной сети

После детектирования изображений производится окончательный анализ, результатом которого является одно из чисел: 0, 1 или 2. Данные числа обозначают те же неисправности, что и номера классов на выходе нейронной сети. В ходе исследования были построены графики (рис 3, рис. 4), где по вертикальной оси были отложены номера неисправностей, а по горизонтальной – время, измеряющееся в секундах.

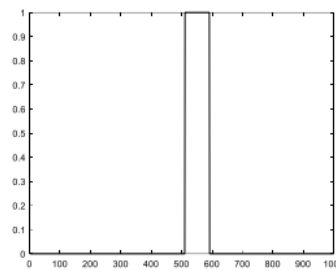


Рис. 3 – Результаты проведения испытаний при обнаружении МКЗ на первичной обмотке

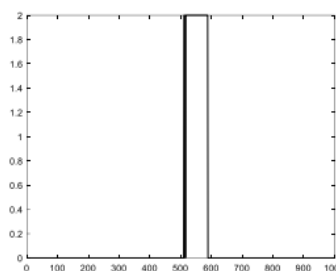


Рис. 4 – Результаты проведения испытаний при обнаружении МКЗ на вторичной обмотке

На основе Т-образной схемы замещения (рис. 5) в программе Matlab разработана математическая модель, которая позволит обучать нейронные сети и применять данный метод технической диагностики к абсолютно любому трансформатору.

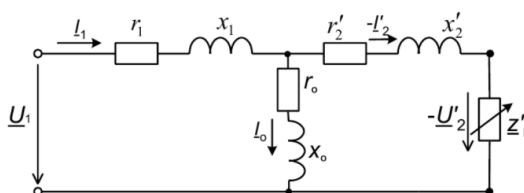


Рис. 5 – Т-образная схема трансформатора

Научная новизна материала статьи заключается в практическом применении сверточных нейронных сетей, которые в режиме реального времени анализируют информацию, классифицируют различные отклонения и диагностируют определенный вид дефекта. Практическая значимость – в снижении неплановых отказов, заблаговременном предупреждении о развитии повреждения.

### IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. Техносфера, 2005. – 1072 с.
2. Bundzel, M. Object identification in dynamic images based on the memory-prediction theory of brain function / M. Bundzel, S. Hashimoto // Journal of Intelligent Learning Systems and Applications. – 2010. – Vol. 2, no 4. – P. 212–220.
3. Буй, Т. Т. Ч. Алгоритмическое и программное обеспечение для классификации цифровых изображений с помощью вейвлет-преобразования Хаара и нейронных сетей / Буй Тхи Тху Чанг, Фан Нгок Хоанг, В. Г. Спицын // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319, № 5. – С. 103–106.