

Рисунок 3 – Распределение ошибки угловых измерений

Для оценки точности определения угловых координат детектированных космических объектов разработанной системы проводилось сравнение полученных угловых координат следующих космических объектов с предсказанными значениями SGP модели: NOAA 18(28654), IRIDIUM 133(42955), SL-3 R/B(00877). Распределение ошибки измерения иллюстрирует рис. 4. Исходя из

полученных результатов, следует заключить, что средняя ошибка угловых измерений системой обработки видеоданных составляет 0,1 град в направлении прямого восхождения (*RA*) и 0,05 град. в направлении склонения (*Dec*). Полученные данные позволяют однозначно детектировать и идентифицировать космические объекты.

Литература

1. Baranova, V. S. Autonomous Streaming Space Objects Detection Based on a Remote Optical System / V. S. Baranova, V. A. Saetchnikov, A. A. Spiridonov // Devices and Methods of Measurements. – 2021. – Vol. 12. – P. 272–279.
2. University Mobile Optical Surveillance System For Low-Earth Space Object Orbit Determination / A. Spiridonov [et al.] // Proc. 2022 IEEE 9th International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace), Pisa, Italy, 27–29 June 2022 / IEEE; edited by M. Marracci. – 2022. – P. 486–490.
3. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.

УДК 621.314

ДИАГНОСТИКА МЕЖВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ТРАНСФОРМАТОРАХ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРНОГО УЧЕТА ДАННЫХ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Громько И.Л., Белькин В.О.

*Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Республика Беларусь*

Аннотация. В статье рассмотрены методы диагностики межвитковых замыканий трансформатора с помощью комплексного 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.

Ключевые слова: трансформатор, нейронная сеть, диагностика, классификация, прибор.

DIAGNOSTICS OF INTER-TURN CIRCUITS IN TRANSFORMERS USING INSTRUMENT DATA ACCOUNTING AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Hramyka I., Belkin V.

*Belarusian State University of Transport
Gomel, Republic of Belarus*

Abstract. The article discusses methods for diagnosing transformer inter-turn circuits using complex data analysis and convolutional neural networks. The use of artificial intelligence will allow analyzing information in real time, classifying various deviations and diagnosing defects without taking the equipment out of operation.

Key words: Transformer, neural network, diagnostics, classification, device.

*Адрес для переписки: Громько И.Л., ул. Громовой, 3, кв. 27, Гомель 246030, Республика Беларусь
e-mail: ivangromyko95@mail.ru*

На сегодняшний день более 50 % 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.

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 экспериментальных исследований, были предусмотрены следующие мероприятия:

- МКЗ проводились в режиме реального времени на первичной и вторичной обмотках однофазного трансформатора с воздушным охлаждением;
- МКЗ выполнялось на двух, пяти и десяти витках;

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 при межвитковом замыкании с интервалом в 1 секунду при 7 различных активных и активно-индуктивных нагрузках.

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 [1].

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



Рисунок 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 удается определить не только целостность обмотки, но и наличие в ней короткозамкнутых витков.

В качестве основы микропроцессорного устройства использовалась плата Z7-Lite 7010. Это программно-аппаратная платформа, предназначенная для приема, анализа, хранения и пере-

дачи информации. На данной программно-аппаратной платформе был разработан одноплатный компьютер, который принимает информацию с датчиков, обрабатывает ее, анализирует и затем через локальную сеть выводит на экран полученные 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 [2].

Для классификации неисправностей используется сверточная 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 рис. 2.

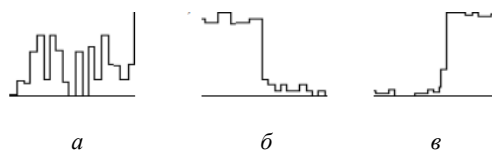


Рисунок 2 – Изображения на входе нейронной сети
а – нормальный режим работы, б – МКЗ на первичной обмотке, в – МКЗ на вторичной обмотке

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 и 4), где по вертикальной оси были отложены номера неисправностей, а по горизонтальной – время, измеряющееся в секундах.

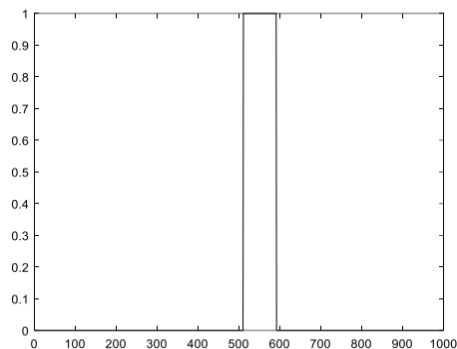


Рисунок 3 – Результаты проведения испытаний при обнаружении МКЗ на первичной обмотке

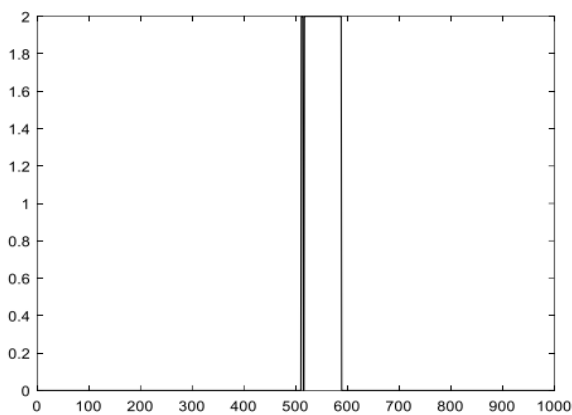


Рисунок 4 – Результаты проведения испытаний при обнаружении МКЗ на вторичной обмотке

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.

Литература

1. Пехота, А. Н. Диагностирование межвитковых коротких замыканий трансформаторов с помощью комплексного анализа данных приборного учета / А. Н. Пехота, В. Н. Галушко, И. Л. Громыко // Энергоэффективность. – 2020. – № 2. – С. 24–28.

2. Пехота, А. Н. Диагностика трансформаторов с помощью сверточных нейронных сетей / А. Н. Пехота, В. Н. Галушко, И. Л. Громыко // Энергоэффективность. – 2021. – № 2. – С. 30–36.

УДК 004.021

КРИТЕРИИ ОПТИМУМА ПРИ КОМПЛЕКСИРОВАНИИ СИГНАЛОВ

Горин А.В.

ФГБОУ «Тульский государственный университет»
Тула, Российская Федерация

Аннотация. Для задачи, имеющей место в теории оптимального управления и заключающейся в выборе оператора, приближающего обрабатываемые сигналы к истинному, рассматриваются критерии оптимума при комплексировании сигналов.

Ключевые слова: комплексирование, критерий оптимума.

OPTIMAL CRITERIA BY SIGNAL FUSION

Gorin A.

Tula State University
Tula, Russian Federation

Abstract. For a problem that takes place in the theory of optimal control and consists in choosing an operator that approximates the processed signals to the true one, optimal criteria are considered for fusion.

Key words: fusion, optimum criterion.

Адрес для переписки: Горин А.В., пр. Ленина, 95, Тула 300012, Российская Федерация
e-mail: tongornani@mail.ru

При комплексировании информации возможны различные подходы к определению критерия оптимума. Среди возможного множества задач выделим задачу, имеющую место в теории оптимального управления (1): случайная функция $\Sigma(s)$ наблюдается в некоторой области \mathcal{S} изменения аргумента s , необходимо найти оператор P , приближающий ее возможно более близко к случайной функции $\mathcal{W}^*(y)$ ($\mathcal{W}^*(y)$ является оценкой случайной функции $\mathcal{W}(y)$) в области \mathcal{Y} изменения аргумента y :

$$\mathcal{W}^*(y) = P\Sigma(s). \quad (1)$$

При комплексировании N случайных функций (1) можно переписать как

$$S_f = P(\Sigma) = P(\sigma_1, \dots, \sigma_N)$$

где S_f – комплексированный сигнал; P – оператор, доставляющий экстремум некоторому критерию; $\Sigma = \sigma_1, \dots, \sigma_N$ – множество сигналов, к которому применяется оператор P ; σ_i ($i = \overline{1, N}$) – комплексированный сигнал, представляющий собой аддитивную смесь полезного сигнала и шума.

После постановки задачи следует определение критерия оптимума. Одними из самых распространенных критериев являются критерии, оценивающие ошибку приближения.

Критерий минимума среднеквадратической ошибки:

$$E(y) = \mathcal{W}^*(y) - \mathcal{W}(y) = P\Sigma(s) - (y),$$

$$\eta = M[|E(y)|^2] = \min. \quad (2)$$

Обобщение (2) критерия минимума среднеквадратической ошибки: