

безопасных отказов. На последнем этапе работы приложения выполняется сверка с эталонными уровнями и диапазонами охвата диагностики, описанной в методике [1], и выдается заключение. Так что пользователь может быть уверен в качестве получаемых результатов и их соответствии заданным требованиям и стандартам.

Методика β -фактора остается важным инструментом в области функциональной безопасности, и автоматизация процессов анализа с использованием данной методики представляется перспективным направлением улучшения точности и надежности оценок безопасности. Однако эффективность анализа может быть значительно улучшена за счет автоматизации и интеграции с современными системами диагностики и контроля, а также с системами, автоматизирующими другие расчетные модели.

Список литературы

1 ГОСТ Р МЭК 61508-4-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Ч. 4 Термины и определения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://meganorm.ru/Data/543/54334.pdf>. – Дата доступа : 04.09.2024.

2 **Викторова, В. С.** Модели и методы расчёта надёжности технических систем / В. С. Викторова, А. С. Степанянц. – 2-е изд., испр. – М. : ЛЕНАНД, 2016. – 256 с.

УДК 621.31

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ ВИТКОВ ПО ФОРМЕ КРИВОЙ ТОКА ХОЛОСТОГО ХОДА С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

И. Л. ГРОМЫКО, В. Н. ГАЛУШКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Статистика по выходу из строя трансформаторов систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи (СЖАТС) Барановичского и Гомельского отделений Белорусской железной дороги с 2014 по 2022 г. указывает, что основной причиной выхода из строя являлись короткие замыкания (37 %), обрывы в обмотках (21 %), грозовые перенапряжения. Часто (более 20 %) установление причин выхода из строя представлялось затруднительным. Так как надежность системы железнодорожной автоматики и телемеханики является важнейшим параметром функционирования железнодорожных перевозок, то отсутствие современной системы мониторинга состояния данного оборудования является актуальной задачей.

Одним из наиболее распространенных следствий ухудшения свойств изоляции являются межвитковые замыкания. При межвитковом замыкании изоляция обмотки нарушается и происходит ее пробой между витками, что впоследствии может привести к выходу из строя трансформатора.

В качестве основных причин межвиткового короткого замыкания (МКЗ) выделяют разрушение витковой изоляции из-за длительных перегрузок и недостаточного охлаждения, понижение уровня масла, попадание влаги или грязи внутрь, перенапряжения и деформации обмоток.

Признаками появления МКЗ в трансформаторе могут быть срабатывание газовой защиты на отключение, аномальный нагрев трансформаторного масла, небольшое увеличение первичного тока, различное сопротивление фаз постоянному току, срабатывание дифференциальной или максимальной токовой защиты. Подробный анализ характеристик МКЗ был приведен в статье [1].

Межвитковые короткие замыкания можно обнаружить с помощью нейронных сетей. Например, в статье [2] был приведен метод обнаружения межвитковых коротких замыканий, который по отношениям напряжений, токов, активных мощностей и коэффициентам мощностей первичной и вторичной обмоток трансформатора, с использованием сверточных нейронных сетей, может определить наличие и примерное местоположение межвиткового короткого замыкания.

В данной работе предлагается метод обнаружения МКЗ по осциллограмме тока холостого хода, с помощью сверточных нейронных сетей.

В качестве объекта исследования использовался однофазный трансформатор ТС-280Р. На рисунке 1 представлены осциллограммы тока холостого хода при нормальной работе трансформатора и с МКЗ на первичной обмотке.

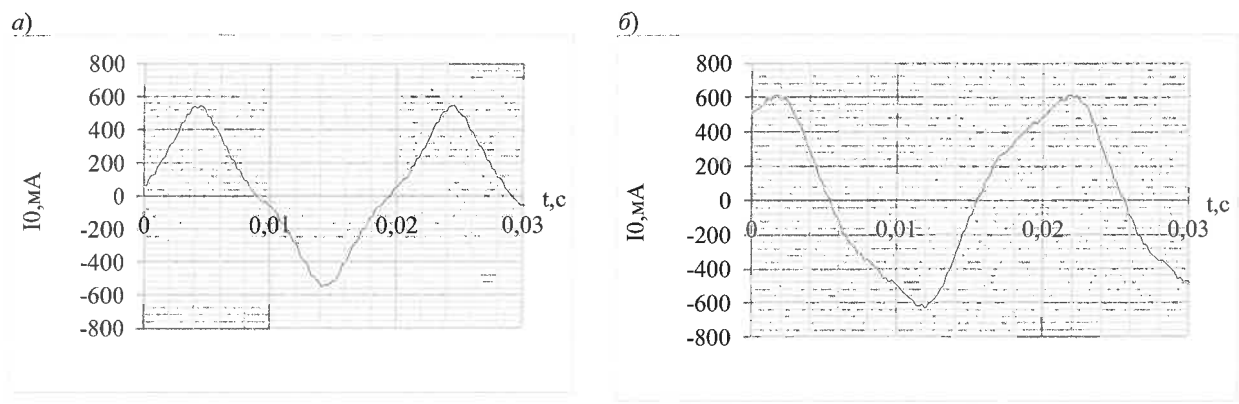


Рисунок 1 – Осциллограммы кривых тока холостого хода:
а – при нормальной работе трансформатора; *б* – при наличии МКЗ

Как видно из данных осциллограмм, форма кривой тока холостого хода меняется при возникновении МКЗ.

Основные этапы реализации данной технологии заключаются в следующем:

- 1 Формируется массив мгновенных значений тока холостого хода.
- 2 С помощью библиотеки `opencv` формируются изображения размером 240×175 пикселей (рисунок 2), на основе данного массива.

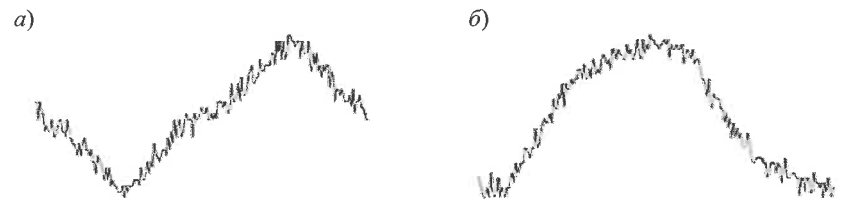


Рисунок 2 – Изображения кривых тока холостого хода:
а – при нормальной работе трансформатора; *б* – при наличии МКЗ

3 Полученные изображения классифицируются с помощью сверточной нейронной сети ResNet-18. К классу 0 относятся изображения для нормально состояния трансформатора (рисунок 2, *а*). К классу 1 относятся изображения с МКЗ (рисунок 2, *б*).

Для классификации изображений была использована нейронная сеть ResNet-18. ResNet-18 широко применяется в задачах классификации изображений, детекции объектов и сегментации изображений. Благодаря своей относительно высокой точности и быстродействию, она является популярным выбором для различных приложений компьютерного зрения.

Архитектура ResNet-18 представляет собой важный шаг в развитии глубокого обучения и демонстрирует значительное улучшение производительности нейронных сетей в задачах обработки изображений. Её простота и эффективность делают её популярным выбором для различных приложений в области компьютерного зрения.

Нейронная сеть принимает на вход изображения и на выходе выдает номер класса. Обучение происходит в 9 эпох. В результате обучения была получена сверточная нейронная сеть, распознающая межвитковые короткие замыкания с вероятностью 99,92 % и выше.

Таблица 1 – Результаты обучения

Эпохи	Обучение		Валидация	
	Потери	Точность	Потери	Точность
1	0,025	0,997	0,0178	0,9976
2	0,0142	0,9984	0,0123	0,9984
3	0,0098	0,9989	0,0099	0,9989
4	0,08	0,9991	0,0082	0,9987
5	0,0065	0,9991	0,0075	0,9987
6	0,0059	0,9989	0,0064	0,9992
7	0,005	0,999	0,006	0,9992
8	0,0043	0,9994	0,0054	0,9992
9	0,0038	0,9992	0,0051	0,9992

Разработанная сверточная нейронная сеть обнаружения короткозамкнутых витков в обмотках трансформатора по форме кривой тока холостого хода обладает высокой точностью и быстродействием.

Список литературы

1 **Bunjongjit, S.** Analysis of interturn fault characteristics in single phase transformer using experimental setup / S. Bunjongjit, J. Klomjit, A. Ngaopitakkul // 2016 19th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Chiba, Japan, 2016. – P. 1–5.

2 **Hramyka, I.** Development of Software and Hardware for Identification of Interturn Short Circuit in Single-Phase Transformers / I. Hramyka // Third International Conference on Power, Control and Computing Technologies (ICPC2T), Raipur, India, 2024. – P. 241–246. – DOI: 10.1109/ICPC2T60072.2024.10474962.

УДК 656.25+681.518.5

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ЗАМЫКАНИЮ МАРШУТОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЯХ С БОРТОВЫХ СРЕДСТВ ЛОКОМОТИВОВ

Д. В. ЕФАНОВ

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Российская Федерация
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва
Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

Современный этап развития железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) связан с использованием для регулирования движения поездов электрической централизации (ЭЦ) стрелок и сигналов и различных видов блокировки [1]. И стоит только подумать, а ведь это изобретения, датирующиеся более чем веком тому назад! В отрасли ЖАТ, как правило, постепенно улучшаются принципы действия устройств и систем, придуманных в прошлом и позапрошлом веках.

Перспективы совершенствования отрасли ЖАТ, по мнению автора, связаны с распространением управления не только движением поездов на перегонах по радиоканалам, но и с радиоуправлением напольными технологическими объектами, а также с использованием радиоцентрализации (РЦ) и виртуальной централизации [2]. При этом должны развиваться функции самодиагностирования устройств ЖАТ и объектов инфраструктуры железных дорог, а системы управления движением должны учитывать состояния объектов инфраструктуры и подвижного состава при регулировании движения поездов [3, 4]. Ряд функций по организации управления движением на уровне диспетчерского аппарата должен быть автоматизирован: выбор станций для скрещения и обгона поездов, учет отказов объектов инфраструктуры и подвижного состава при управлении движением по железнодорожным линиям и многое другое. Немаловажным фактором является и то, что должно быть минимизировано участие человека в процессе управления объектами на станции с дальнейшим переходом к роли наблюдателя. И очередным шагом к этому должна стать реализация маршрутного управления объектами ЖАТ без участия человека-оператора (дежурного по станции).

Подготовка маршрутов и их замыкание могут осуществляться непосредственно с движущихся поездов при наличии такой функции в бортовых средствах. Причем подготовка маршрута должна быть не функцией человека-оператора локомотива (машиниста), а функцией информационного сопряжения автоматизированных рабочих мест поездного диспетчера и бортовых средств автоматики. Если имеется график движения поездов и известен график исполненного движения для каждого конкретного поезда, то команды на задание маршрутов могут по защищенному радиоканалу передаваться на бортовые средства локомотивов. После этого, заблаговременно, должны передаваться команды на устройства радиоуправления напольным технологическим оборудованием ЖАТ и осуществляться задание маршрута. Данные о задании маршрута должны передаваться на бортовые средства локомотива, ведущего поезд, для которого этот маршрут предназначен, а также на бортовые средства тех локомотивов, которые ведут поезда на подходах к станции, на которой задается маршрут, и на ней самой. Такой подход к организации управления движением поездов по станциям позволяет постепенно изменить концепцию управления, снизить нагрузку на дежурного по станции, оставив за ним маневровую работу на станции, а для некоторых станций, где маневровая работа не предусмотрена, и вовсе исключить его влияние на процесс управления. Таким образом, просматривается переход к модификации систем управления на станциях и к исключению аппаратов управления с человеко-машинным интерфейсом (как минимум на промежуточных станциях, где допустимы только процедуры скрещения и обгона).