

Теплообменники на термосифонах позволяют эффективно утилизировать тепло возобновляемых источников энергии (солнце, грунт), а также безвозвратно теряемое при использовании различных технологических процессов (вентиляция и кондиционирование)

Литература

1. Использование теплообменников на тепловых трубах для кондиционирования, в области пищевой промышленности и холодильной техники / Л. Л. Васильев [и др.] // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2014. – № 3. – С. 85–90.
2. Термосифоны и тепловые трубы в системах для использования низкопотенциального тепла / Л. Л. Васильев [и др.] // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2019. – № 2. – С. 34–40.
3. Инновационный радиатор с тепловыми трубами для охлаждения мощных светодиодных осветительных приборов / Л. Л. Васильев [и др.] // Энергоэффективность. – 2015. – № 5. – С. 14–17.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ТРАНСФОРМАТОРОВ

В. О. Белькин

Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Научный руководитель канд. техн. наук, доц. В. Н. Галушко

Неотъемлемый элемент централизованного электроснабжения – трансформатор. Выход из строя силового трансформатора может привести к созданию аварийных ситуаций, перебоям электроснабжения, массовому недоотпуску продукции. Поэтому контроль состояния трансформатора становится важной задачей.

Основными неисправностями силовых трансформаторов являются:

- 1) местное замыкание пластин стали (пожар в стали);
- 2) межвитковые замыкания;
- 3) наличие примесей в трансформаторном масле.

К дополнительным неисправностям относят:

- 1) механическая деформация обмоток;
- 2) деформация магнитопровода;
- 3) междуфазное замыкание обмоток трансформатора;
- 4) межвитковые короткие замыкания.

При выполнении опытов в трансформатор заблаговременно вводились поочередно все неисправности и затем проводились испытания. По результатам экспериментов было выявлено, что наиболее значимыми исходными данными для нейромоделирования являются:

– температура на поверхности обмоток (при МКЗ средний градиент температуры в данной зоне составил около 35 °С/мин);

– отношение токов, напряжений и активных мощностей первичной и вторичной обмоток;

– состав окружающего воздуха на наличие частиц задымления от лака и бумажной изоляции.

Исследование дополнительных неисправностей позволяет выявить наиболее значимо изменяющиеся параметры экспериментально.

1. Деформация магнитопровода. Признаками повреждения являются увеличение потерь холостого хода и уменьшение активного сопротивления T -образной схемы замещения на холостом ходу.

Для проведения опыта короткого замыкания и механической деформации обмоток с помощью *RLC*-метра трансформатор с короткозамкнутой вторичной обмоткой был представлен в виде реальной катушки индуктивности, схема которой приведена на рис. 1.

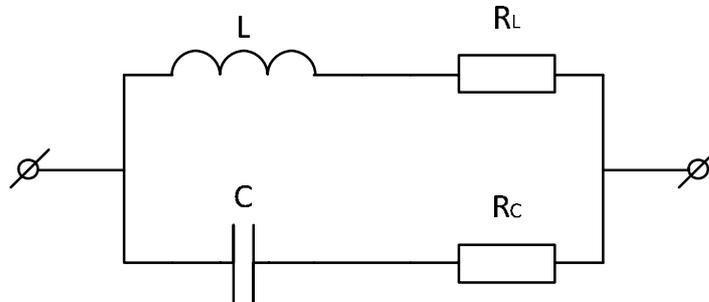


Рис. 1. Схема замещения реальной катушки индуктивности:
 L – индуктивность; C – собственная емкость; R_L – сопротивление, отображающее активные потери в проводнике; R_C – сопротивление, отображающее потери в емкости (диэлектрические потери)

2. Механическая деформация обмоток. В ходе экспериментов было определено, что данный вид дефекта приводит к значительному увеличению индуктивности и активного сопротивления обмоток при одновременном уменьшении собственной емкости схемы замещения реальной катушки индуктивности.

3. Межвитковые короткие замыкания. Наибольшие изменения касались увеличения активного сопротивления намагничивающей ветви и активной мощности в опыте холостого хода, а также менее значимого уменьшения индуктивности намагничивающей ветви.

4. Междофазное замыкание обмоток трансформатора. Характеризуется значительным увеличением активного сопротивления обмоток и уменьшением собственной емкости схемы замещения реальной катушки индуктивности.

Снижение емкости связано с уменьшением числа изоляционных витковых промежутков, а увеличение активных потерь обусловлено повышенным тепловыделением в зоне замыкания фаз.

Набор существенно изменяющихся параметров трансформаторов, характерных для различных неисправностей, представлен в таблице.

Набор существенно изменяющихся параметров трансформаторов, характерных для различных неисправностей

Неисправность	Опыт холостого хода	Измерения с помощью <i>RLC</i> -метра
1. Деформация магнитопровода	$P_0 \uparrow, r_0 \downarrow$	–
2. Механическая деформация обмоток	–	$L \uparrow, r_L^i \uparrow, C \downarrow$
3. Межвитковые короткие замыкания	$P_0 \uparrow \uparrow, r_0 \uparrow \uparrow$	$L \downarrow$
4. Междофазное замыкание обмоток	–	$r_L \uparrow \uparrow, C \downarrow \downarrow$

Примечание. r_L^i – активное сопротивление проволоки катушки индуктивности.

Сверточная нейронная сеть, принимая на свой вход данные с первичных преобразователей, позволит в режиме реального времени анализировать информацию и судить о том или ином состоянии электрической машины, не выводя трансформатор из работы, а также с вероятностью до 90 % прогнозировать остаточный ресурс. Это предоставляет дополнительные возможности в обеспечении низкого уровня безаварийности и соблюдения режимов бесперебойного электроснабжения. При этом затраты на внедрение данной технологии нейромоделирования относительно невелики (например, применение одноплатных компьютеров), а эффективность от применения будет существенной. На рис. 2 приведен результат применения.

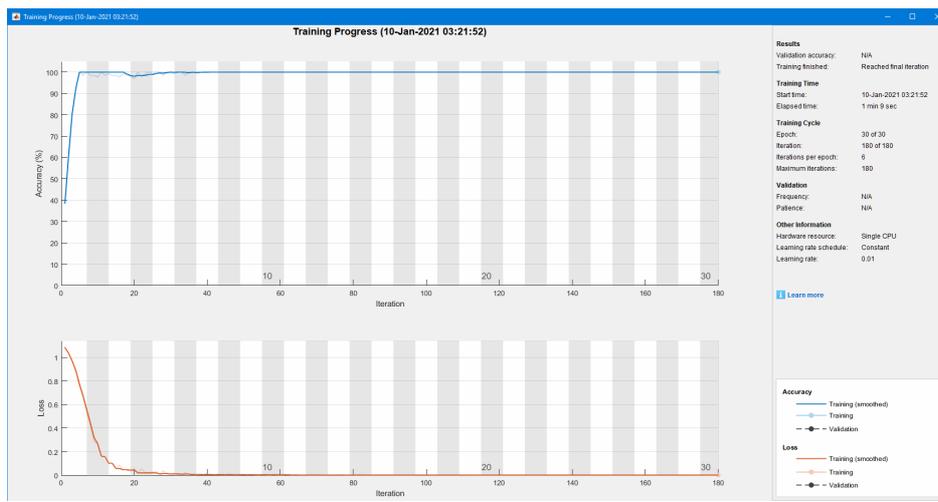


Рис. 2. Результаты применения сверточных нейронных сетей

На графике, представленном на рис. 3, показано влияние диагностических испытаний на увеличение срока службы трансформатора.

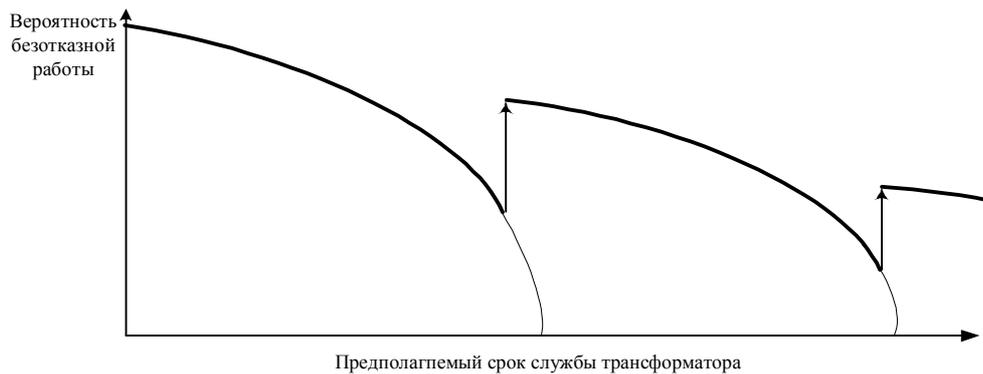


Рис. 3. Влияние диагностических испытаний и корректировочные меры для увеличения срока службы трансформатора

Важное значение для исследовательской работы имеет математическая модель трансформатора, построенная на основе T -образной схемы замещения. В этом заключается научная новизна данной работы, так как математическая модель позволит обучать нейронную сеть и применять этот метод диагностики к абсолютно любому трансформатору.

Литература

1. 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.
2. Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций : учеб. пособие / А. И. Хальясмаа [и др.]. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 64 с.
3. Паздников, И. Л. Определение короткозамкнутых витков в обмотках трансформаторов и дротков / И. Л. Паздников // Радио. – 1990. – № 7. – С. 68–69.

**АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ
ТРАНСФОРМАТОРОВ****В. О. Белькин***Учреждение образования «Белорусский государственный университет
транспорта», г. Гомель*

Научный руководитель И. Л. Громыко

Трансформатор является важным элементом централизованного электроснабжения. При выходе из строя силового трансформатора может произойти создание аварийных ситуаций, перебои электроснабжения и массовый недоотпуск продукции. По этой причине контроль состояния трансформатора – первостепенная задача.

К основным неисправностям силовых трансформаторов относятся:

- межвитковые замыкания;
- местное замыкание пластин стали (пожар в стали);
- наличие примесей в трансформаторном масле.

Дополнительными неисправностями являются:

- деформация магнитопровода;
- механическая деформация обмоток;
- межвитковые короткие замыкания;
- междуфазное замыкание обмоток трансформатора.

Для идентификации неисправностей в трансформаторе было разработано микропроцессорное устройство, которое включает следующее оборудование: датчики; часы реального времени; модернизированный под микропроцессорное устройство пробник Паздникова; платы Z7-Lite 7010.

В качестве датчиков применяются:

- датчики температуры MLX90614ESF (более трех);
- датчик температуры, давления и влажности BME280;
- энергометры PZEM-004t-100A (шесть);
- аналого-цифровой преобразователь (АЦП) ADS1115.

Часы реального времени – DS3231.

Пробник Паздникова предназначен для проверки обмоток трансформаторов, дросселей, электродвигателей, реле, магнитных пускателей, контакторов и других катушек. Пробником удастся определить не только целостность обмотки, но и наличие в ней короткозамкнутых витков. Кроме того, пробник может быть использован для проверки проводимости полупроводников и исправности переходов кремниевых диодов и транзисторов.

В качестве основы микропроцессорного устройства использовалась плата Z7-Lite 7010. Это программно-аппаратная платформа, предназначенная для приема, анализа, хранения и передачи информации. На данной программно-аппаратной платформе был разработан одноплатный компьютер, который принимает информа-