

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-

цию с датчиков, обрабатывает и анализирует ее и затем выводит на экран и через локальную сеть 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 (рис. 1).

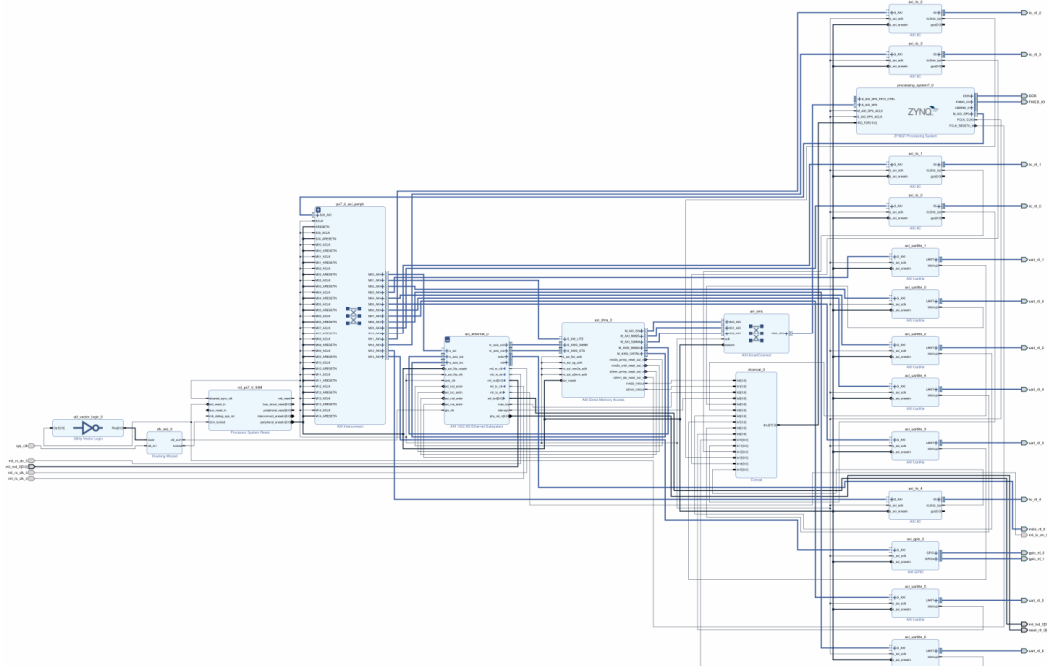


Рис. 1. Блок-дизайн программной части для микропроцессорного устройства

Софт-процессорное ядро (theprocessorsystemIP) является процессором для данного микропроцессорного устройства. Это программный интерфейс системы обработки, который состоит из интегрированной системы обработки (PS) и блока программируемой логики (PL), обеспечивая расширяемое и гибкое решение на одном кристалле. В данном ядре происходит обработка и анализ информации с датчиков.

Ядра, отвечающие за связь между датчиками и софт-процессорным ядром, представлены на рис. 2.

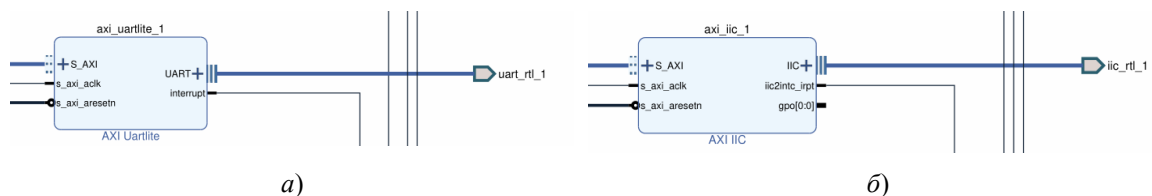


Рис. 2. Ядра, отвечающие за связь между датчиками и софт-процессорным ядром:

- а* – ядро, принимающее информацию с датчиков, использующих последовательный интерфейс передачи данных – UART;
- б* – ядро, принимающее информацию с датчиков

К ядрам `axi_uartlite_1` – `axi_uartlite_6` подключаются энергометры, а все остальные датчики и дисплей подключаются к ядрам `axi_iic`.

Ядро `axi_gpio` используется для подключения клавиатуры и пробника Паздникова к микропроцессорному устройству.

Для передачи и приема данных по локальной сети используется связка ядер `axi_ethernet` и `axi_dma`.

Для регулирования потоков информации между вышеописанными ядрами и софт-процессорным ядром применяется ядро `AXIInterconnect`.

На базе получившегося блок-дизайна была разработана операционная система, использующая ядро `Linux 5.15`.

Также дополнительно проводилось осциллографирование и разложение по гармоникам кривых тока и напряжения.

Принимая на свой вход данные с первичных преобразователей, сверточная нейронная сеть дает возможность в режиме реального времени проводить анализ информации и делать выводы о том или ином состоянии электрической машины, не выводя трансформатор из работы, а также прогнозировать остаточный ресурс с вероятностью до 90 %, что предоставляет дополнительные возможности для обеспечения низкого уровня безаварийности и соблюдения режимов бесперебойного электроснабжения. Затраты на внедрение данной технологии нейромоделирования относительно невелики (к примеру, применение одноплатных компьютеров), а эффективность от применения будет увеличиваться.

Влияние диагностических испытаний для увеличения срока службы трансформатора показано на рис. 3.

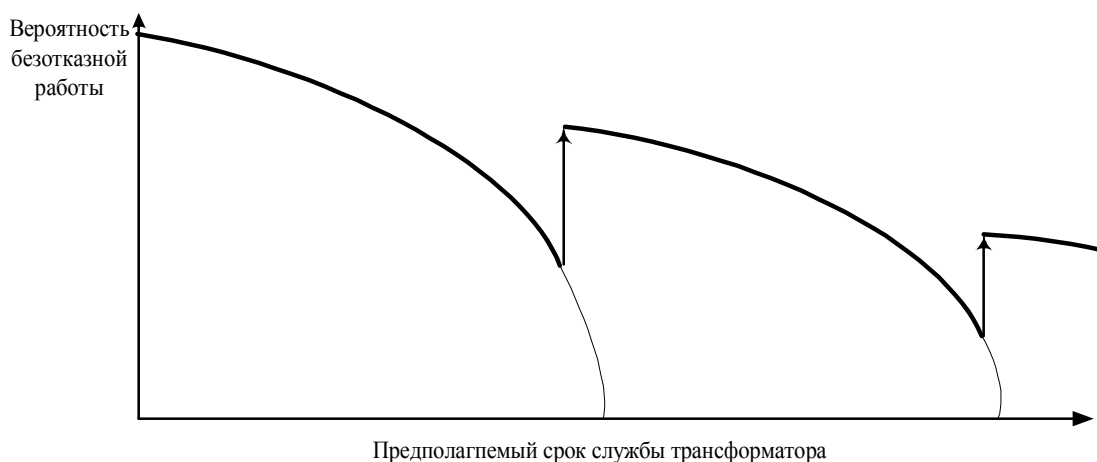


Рис. 3. Влияние диагностических испытаний и корректировочные меры для увеличения срока службы трансформатора

Математическая модель трансформатора, построенная на основе T -образной схемы замещения, имеет большое значение для данной работы, так как эта исследуемая математическая модель даст возможность обучать нейронную сеть и применять этот метод диагностирования для абсолютно любого трансформатора.

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