

# КЛАССИФИКАЦИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ ПОМОЩИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

А.В. Обходский, Е.В. Ефремов, А.С. Попов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: asptomsktpu@gmail.com

## Введение

Электрические подстанции являются частями электроэнергетических систем и выполняют функции распределения, передачи и хранения энергии. При любой организации работы подстанции, трансформатор является одним из важнейших и дорогостоящих компонентов.

В настоящее время наблюдается большое количество работ, посвященных применению искусственных нейронных сетей (ИНС) для диагностики работы трансформаторов подстанций. Это вызвано тем, что модель реального масляного трансформатора настолько сложна, что поддается расчету только на суперкомпьютере (в режиме реального времени). При этом ИНС способна распознавать скрытые закономерности объектов, используя значительно меньшее количество вычислительных ресурсов. Недостатком является необходимость в некотором количестве статистических данных, полученных либо с реального устройства, либо с модели.

## Модель трансформатора

Для получения данных для нейронной сети было решено создать компьютерную модель трехфазного понижающего силового трансформатора марки ТМ-160/6/0,4.

Упрощение исследования работы реального трансформатора, в котором обмотки связаны посредством электромагнитного поля, было произведено путем его замена схемы, в которой элементы связаны между собой лишь электрически. В этом случае классическая Т-образная схема замещения одной фазы трансформатора выглядит следующим образом (рисунок 1) [1].

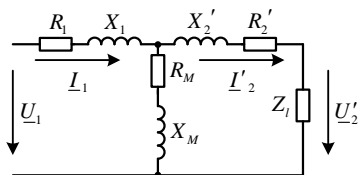


Рис. 1. Т-образная схема замещения одной фазы трансформатора

В указанной схеме параметры вторичной обмотки приведены к первичной. Это сделано путем пересчета вторичной обмотки с количеством витков  $w_2$  на эквивалентную ей приведенную обмотку  $w/2$ , имеющую такое же количество витков  $w_1$ , как и первичная обмотка с сохранением всех параметров, определяющих энергетические процессы в трансформаторе.

Объединенная обмотка с параметрами ХМ и RM играет роль намагничивающей обмотки, которая создает основной магнитный поток, замыкающийся по сердечнику трансформатора. Мощность, расходуемая в этой обмотке, определяется потерями в сердечнике на гистерезис и вихревые токи.

Для обеспечения возможности моделирования различных режимов работы трехфазного трансформатора (в том числе и при несимметричной нагрузке) была выбрана следующая схема замещения трехфазного трансформатора (рисунок 2).

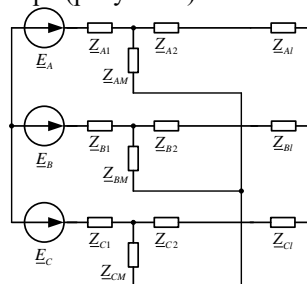


Рис. 2. Схема замещения трехфазного трансформатора при соединении обмоток Y/Y-0

Параметры указанной схемы замещения легко определяются из опыта холостого хода и короткого замыкания по, что позволяет рассчитать ее методами теории электрических цепей.

## Нейронная сеть и наборы данных

Полученная модель сгенерировала 2 набора данных:

1) набор для создания обучающей выборки для нейронной сети.

2) контрольный набор для проверки работоспособности нейронной сети.

Оба набора представляют собой последовательности строк, каждая из которых состоит из перечисленных мгновенных и действующих значений токов всех фаз (А, В, С) со всех сторон (Высокого и низкого напряжения) – всего 12 значений; и соответствующей кодировке нормального функционирования или одной из 19 неисправностей (10 коротких замыканий, 3 перекоса фаз, 6 разрывов обмотки). Каждая строка соответствует определенному моменту времени, которое меняется так, чтобы один период мгновенного значения тока включал в себя примерно 256 строк. Таким образом, 256 строк любого набора описывают примерно 0,02 с реального времени работы трансформатора.

К нейронной сети были выдвинуты следующие требования: на основе набора 1 обучиться определять неисправности работы трансформатора, затем определить эти неисправности на наборе 2. По сути это является задачей классификации, с которой вполне справляется нейронная сеть типа перцептрон, именно для нее необходимо было сформировать входные данные.

В среде Qt Creator была написана программа, преобразующая наборы значений, полученные при помощи модели, в обучающую и контрольную выборку для нейронной сети. Данные формировались по методу скользящего окна, где шаг скольжения равен ширине окна. Контрольный тут является фаза А и все данные формируются согласно ее периодичности.

Одним из важнейших вопросов, которые необходимо учитывать при формировании выборок для нейронной сети, является учет непостоянства времени в пределах одного периода. Другими словами, в сети переменного тока с частотой 50 Гц период синусоиды не будет равен идеально 0,02 с. Даже небольшая погрешность во времени, с учетом ее накопления, может значительно сдвинуть контрольный период, что, в свою очередь, испортит данные, и нейронная сеть уже не сможет обучиться. Для того, чтобы не возникало сдвигов и количество точек всегда было одним и тем же, было решено использовать интерполяцию полиномом Лагранжа для каждого блока данных в пределах скользящего окна. Основное условие, по которому определялось начало периода, было переход линии синусоиды снизу-вверх, что закрывало предыдущее окно и открывало следующее. Помимо этого, было добавлено еще несколько условий, с помощью которых устанавливались ложные периоды или контроль переключался на другую обмотку.

### Результаты

Оптимальное количество базисных полиномов в интерполяции было найдено эмпирически и равно 10. Если увеличивать количество, то время вычислений увеличивается, а погрешность не уменьшается до 15, с 16 и выше начинает увеличиваться. Если уменьшать, то погрешность, разумеется, увеличивается.

Нейронная сеть была разработана, обучена и протестирована с использованием ПО и оборудования, описанного в работе [2].

В таблице 1 приведены результаты вычислений контрольного набора, при различных конфигурациях нейронной сети и методах обработки данных. В таблицу 2 занесены временные интервалы, необходимые для обработки обученной нейронной сетью одного контрольного набора, состоящего из различного количества точек скользящего окна.

Изменения в количестве скрытых нейронов не привели к увеличению точности, снижение количества ведет к увеличению погрешности.

Таблица 1. Погрешность для нейронных сетей с различной структурой.

Структура	Методы	Погрешн.
3072-3072-6	Нормировка на 1	23.5%
3072-3072-3072-6	Нормировка на 1	8.7%
3072-3072-6	Нормировка на номинальные значения	5.6%
3072-3072-3072-6	Нормировка на номинальные значения	0.9%
1536-1536-1536-6	Нормировка на номинальные значения	0.9%
768-768-768-6	Нормировка на номинальные значения	18%

Таблица 2. Время обработки одного набора данных нейронной сетью.

Количество точек скользящего окна	Время, с
256	0,085
128	0,021
64	0,005

Все ошибки классификации в лучшей конфигурации нейронной сети пришлось на переходные процессы. В первоначальном варианте помимо режимов, перечисленных в таблице 3, были 5 различных случаев пуска трансформатора, которые обученная нейронная сеть плохо классифицировала, поскольку основная информация во всех пусках приходилась на переходные процессы.

Таким образом, результатом работы стала нейронная сеть, способная точно определить один из 20 режимов работы трансформатора, с возможностью классификации в реальном времени. Поскольку данные для нее нормируются на номинальные значения, есть высокая вероятность того, что нейронная сеть способна работать на некотором диапазоне трансформаторов, при условии подключения обмоток по схеме Y/Y-0.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Соглашение о предоставлении гранта RFMEFI57818X0272.

### Список используемых источников

1. Nimish Bhatt, O.P Rahi, Nitish Bharadwaj A Novel Methodology for Power Transformer Differential Protection by incorporating Artificial Neural Network // 2016 International Conference on Electrical Power and Energy Systems (ICEPES) Maulana Azad National Institute of Technology, Bhopal, India. Dec 14-16, 2016. – P. 1–7.
2. Dyachkov E.V., Kazaryan M.A., Obkhodskiy A.V., Obkhodskaya E.V., Popov A.S. & Sachkov V.I. Algorithm for Processing and Analysis of Raman Spectra using Neural Networks // Bulletin of the Lebedev Physics Institute. – 2018. – Vol. 11. – pp. 331-333.