

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

Е.В. Бухаров, И.Н. Гусаров  
Томский политехнический университет  
ИШЭ, ОЭЭ, группа 5А93

Данная работа представляет возможность применения нейронных сетей в качестве релейной защиты электрооборудования. В ходе работы была спроектирован классификатор, определяющий наличие или отсутствие короткого замыкания в фазе по набору мгновенных значений тока.

## Обучение

Для обучения нейронной сети использовалась модель энергосистемы различных классов напряжения в программном комплексе Real Time Digital Simulator. В программном комплексе моделировалось короткое замыкания на различных элементах системы, при различных параметрах режима работы. Так варьировались значения мощности, выдаваемой генераторами, параметры нагрузки, место КЗ, сдвиг по фазе КЗ.

Данные одного моделирования представляют из себя таблицу из ста значений. Во время моделирования КЗ программа фиксирует 20 мгновенных значений нормального режима (один период), предшествующего короткому замыканию. Затем 80 мгновенных значений аварийного режима (4 периода). Для лучшего анализа режима требуются значения из нормального режима работа. Так нейронная сеть может чётко определить бросок тока в первый момент КЗ.

Также для обучения моделировались нормальные режимы. Так как при обучение нейронной сети только режимами короткого замыкания увеличивается вероятность её ошибки.

Всего было смоделировано 42 уникальных режима. 30 режимов КЗ и 12 нормальных режимов. Далее данные разделяются на тестовые и тренировочные. Тренировочные данные используются для непосредственного обучения нейронной сети. По тестовым производится проверка эффективности нейронной сети, для большей объективности тестовые данные и тренировочные должны быть различны.

## Структура

Нейронная сеть на вход как уже отмечалось получает мгновенные значения, для придания универсальности работы нейронной сети, происходит переход от абсолютных значений к относительным. Так программа отбирает модуль максимального значения тока в представленном наборе данных, затем все значения тока делятся на максимальное. Данный подход был выбран, так как позволяет использовать данные в промежутке от 0 до 1 (что необходимо для выбранной функции активации), а также помогает нейронной сети определять чёткую кратность увеличения тока.

## Функция активации

Функция активации предназначена для усреднения полученных значений между входным и промежуточным слоем, а также между промежуточным и выходным. Функция активации усиливает слабые сигналы и не даёт сильным сигналам критично повлиять на результат. Функцией активации для нейронной сети была принята сигмоида. Уравнение данной функции:

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (1)$$

График данной функции представлен на рисунке 1.

Так как нейронная сеть работает с гармоническими источниками, то значение тока может иметь около нулевое значения. Чтобы данные значения вносили свой вклад в конечный результат, требуется усиление данных сигналов [1]. Из графика видно, что при получении функцией на входе нулевого значения, на выход функция передаст значение 0,5. Так как оперирование идёт лишь в пределах от 0 до 1, то как отмечалось выше сигмоида усредняет значения.

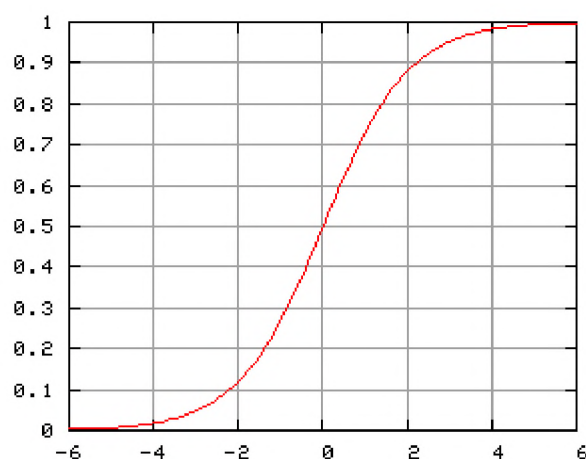


Рис. 1. График функции активации сигмоиды

Также в ходе исследования работы нейронной сети была выбрана оптимальной методика работы лишь с модулями значений токов. Данный выбор позволил ускорить процесс обучения, так как в ходе вычисления ошибки методом обратной ошибки избегается попеременное сложение и вычитание значений, что позволяет находить весовые коэффициенты с использованием метода градиентного спуска. Так же данное решение унифицирует нейронную сеть, так как становится не принципиальным начальное значение фазового сдвига.

#### Допущения

Нейронная сеть была обучена исключая возможность насыщения трансформаторов, данное допущение возможно устранить [2], но требует создание ещё одного классификатора, определяющего наличие высших гармоник, и моделирование режимов с насыщением и без насыщения.

Нейронная сеть обучалась на однофазных коротких замыканиях. Принципы, заданные нейронной сети, позволяют распространить область её работы и на другие типы коротких замыканий. Так текущая нейронная сеть, обученная только на однофазных коротких замыканиях, способна определять двухфазные фаза-фаза и трёхфазные короткие замыкания с эффективностью более 80 %.

#### Результаты

Данные режимов делятся на тренировочные и тестовые. Из общей тренировочной базы отбираются 8 режимов, исключаются из тренировочной базы и переносятся в тестовую. Нейронная сеть обучается на тренировочных данных и выдает анализ тестовых режимов. Для большей объективности тестовые данные были несколько раз заменены. То есть происходила ротации тестовых и тренировочных данных, но результаты работы неизменны.

В результате экспериментов были выбраны следующие параметры: количество эпох обучения (количество итераций прохождения тренировочных данных через нейронную сеть) может быть выбрано в пределах от 15 до 50. Количество узлов скрытого слоя составляет не менее 400 (в 4 раза больше входного слоя). Обучающий коэффициент от 0,05 до 0,3. Выбор начальных значений весовых коэффициентов по нормальному распределению с границами от 0 до значения обратного корня их количества узлов последующего слоя [3].

В итоге результативность нейронной сети для однофазных коротких замыканий составляет 100 %. Что означает, что даже обладая небольшим набором тренировочных данных нейронная сеть способна обучиться и быть использована в качестве защитного оборудования. Результат работы программы представлен на рисунке 2.

Важно отметить, что для сети существуют проблемные режимы, так, например, при невысоком броске тока короткого замыкания на выходе нейронной сети приходят значения менее 0,995, хотя в основном значения превышают данный показатель, что может свидетельствовать о высокой уверенности нейронной сети. Один из таких режимов можно наблюдать под номером 5, график тока по значениям представлен на рисунке 3.

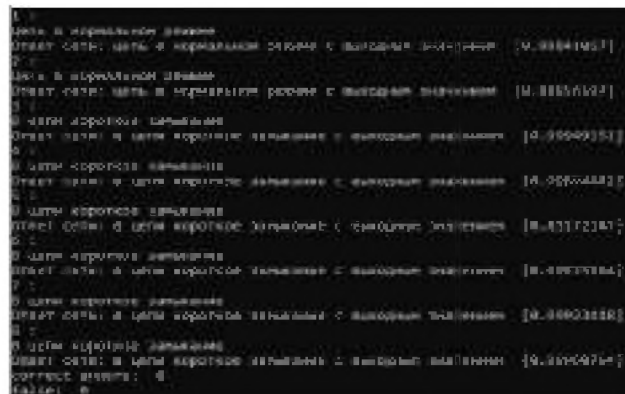


Рис. 2. Окно итогов режима работы программы

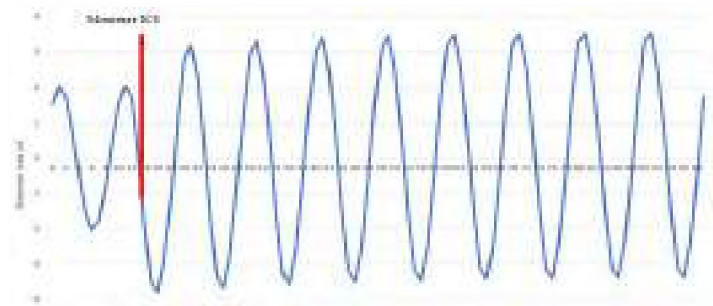


Рис. 3. График тока для пятого тестового режима

Для затруднительных режимов значение колеблется от 0,7 до 0,9. Но данный показатель всё равно является доминирующим, так как противоположенный вход получает значения лишь в пределах от 0,02 до 0,1. Данный факт свидетельствует о высокой точности нейронной сети. Возможность работы классификатора даже с низкими значениями токов коротких замыканий открывает возможность применения нейронной сети и как резервирующей защиты.

Так дальнейшим вектором работы является тренировка нейронной сети на режимы энергосистемы, схожие с короткими замыканиями, например, такие как бросок намагничивающего тока. Так же потенциал нейронной сети как защитной автоматики огромен, так как сеть способна по параметрам режима с высокой скоростью анализировать и чётко определять режим работы.

### Вывод

Нейронные сети являются перспективной разработкой дальнейшего развития релейной защиты и автоматики, так как в меньшей степени, чем классическая защита подвержены к ложным срабатываниям. На текущий момент уже сформирована защита от однофазных коротких замыканий со 100 % эффективностью. Дальнейшее развитие программы ведётся в обучении более сложным режимам. Если программа докажет в свою эффективность при работе и с такими режимами, то данный факт откроет возможность её применения в промышленности.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Тарик Рашидов Создаем Нейронную сеть. – Москва: Вильямс, 2018. – 272 с.
2. Rudra, P. M. Power Transformer Differential Protection Based On Optimal Probabilistic Neural Network / P. M. Rudra, H. K. Verma, Tripathy Manoj. – // IEEE. – 2010. – № 25. – С. 102-112.
3. Fault Prediction of Intelligent Electricity Meter Based on Multi-classification Machine Learning Model / Jincheng Yan, Zelin Guo, Tiejia Yuan [и др.]. // IEEE. – 2021. – С. 293-297.

Научный руководитель: к.т.н. М.В. Андреев, доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ.