

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

Гусаров И.Н., Бухаров Е.В.

Научный руководитель доцент М.В. Андреев

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Эта работа демонстрирует использование нейронных сетей в качестве релейной защиты электрооборудования. Она основывается на спроектированном классификаторе, который определяет наличие или отсутствие короткого замыкания в фазе по набору мгновенных значений тока.

**Обучение.** Для обучения нейронной сети была использована модель энергосистемы различных классов напряжения в программном комплексе Real Time Digital Simulator. Программный комплекс моделировал короткое замыкание, в общей сложности 30 режимов, на различных элементах системы при различных параметрах режима работы, таких как значения мощности, параметры нагрузки, место КЗ и сдвиг по фазе КЗ, а также 12 нормальных режимов. Данные затем были разделены на тренировочные и для проверки эффективности нейронной сети.

Каждое моделирование представляло собой таблицу из ста значений, включая 20 мгновенных значений нормального режима (один период), предшествующего короткому замыканию, и 80 мгновенных значений аварийного режима (четыре периода). Для более точного анализа режима требовались значения из нормального режима работы, чтобы нейронная сеть могла четко определить бросок тока в первый момент короткого замыкания.

**Структура.** Нейронная сеть принимает на вход мгновенные значения тока, переводя их в относительные значения. Для этого программа отбирает модуль максимального значения тока в представленном наборе данных, затем все значения тока делятся на максимальное. Такой подход помогает нейронной сети определять четкую кратность увеличения тока и использовать данные в промежутке от 0 до 1, что необходимо для выбранной функции активации.

**Функция активации.** Функция активации играет важную роль в нейронных сетях, усредняя полученные значения между входным и промежуточным слоем, а также между промежуточным и выходным. Её задача состоит в том, чтобы усилить слабые сигналы и не позволить сильным сигналам критично повлиять на результат. В данном случае была выбрана сигмоида как функция активации.

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

Однако, важно отметить, что нейронные сети работают с гармоническими источниками, и значения тока могут иметь около нулевое значение. Для того чтобы данные значения вносили свой вклад в конечный результат, требуется усилить сигналы. Из графика видно, что при получении функцией на входе нулевого значения, на выход функция передаст значение 0,5. Это происходит потому, что оперирование идет лишь в пределах от 0 до 1, и сигмоида усредняет значения.

Исследования работы нейронной сети показали, что оптимальной методикой работы является работа только с модулями значений токов. Это позволяет ускорить процесс обучения и унифицировать нейронную сеть, так как становится неприципиальным начальное значение фазового сдвига. В ходе обучения исключалась возможность насыщения трансформаторов, но это допущение может быть устранено с помощью создания дополнительного классификатора и моделирования режимов с насыщением и без насыщения.

**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.

**Результаты.** Нейронная сеть была обучена на однофазных коротких замыканиях, но её принципы могут быть распространены на другие типы коротких замыканий. Текущая нейронная сеть, обученная только на однофазных коротких замыканиях, способна определять двухфазные фаза-фаза и трёхфазные короткие замыкания с эффективностью более 80 %.

После экспериментов были выбраны оптимальные параметры, такие как количество эпох обучения, количество узлов скрытого слоя и обучающий коэффициент. В итоге, эффективность нейронной сети для однофазных коротких замыканий составила 100 %, даже при использовании небольшого объема тренировочных данных. Это означает, что нейронная сеть может использоваться как защитное оборудование.

Однако, для некоторых режимов работы нейронной сети существуют проблемы, когда на выходе сети значения могут быть менее 0,995. Один из таких режимов был наблюдаем под номером 5. Несмотря на это, показатель все еще является доминирующим, так как противоположный вход получает значения лишь в пределах от 0,02 до 0,1. Это свидетельствует о высокой точности нейронной сети. Также стоит отметить, что возможность работы классификатора даже при низких значениях токов коротких замыканий позволяет использовать нейронную сеть как резервную защиту.

В дальнейшем планируется обучать нейронную сеть на режимы энергосистемы, схожие с короткими замыканиями, такие как бросок намагничивающего тока. Кроме того, потенциал нейронной сети как защитной автоматики огромен, так как сеть может быстро анализировать параметры режима и четко 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. Tripathy M., Maheshwari R. P., Verma H. K. Power transformer differential protection based on optimal probabilistic neural network //IEEE transactions on power Delivery. – 2009. – Т. 25. – №. 1. – С. 102-112.
3. Jincheng Y. et al. Fault Prediction of Intelligent Electricity Meter Based on Multi-Classification Machine Learning Model //2021 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Computer Applications (ICAICA). – IEEE, 2021. – С. 293-297.

**АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ТИПА 3 И 4**

**Едакин К.И., Арефьев П.В.**

Научный руководитель доцент А.А. Суворов

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

На сегодняшний день глобальное потепление стало одной из самых обсуждаемых экологических проблем этого столетия, и для борьбы с ростом парниковых газов, многие страны стали участниками Парижского соглашения от 2015 года, согласно которому каждое государство должно приложить усилия для поддержания уже достигнутого уровня глобальной температуры [1]. И одним из основных способов решения поставленной задачи является внедрение альтернативных источников энергии, чей фундамент зиждется на силовой электронике.

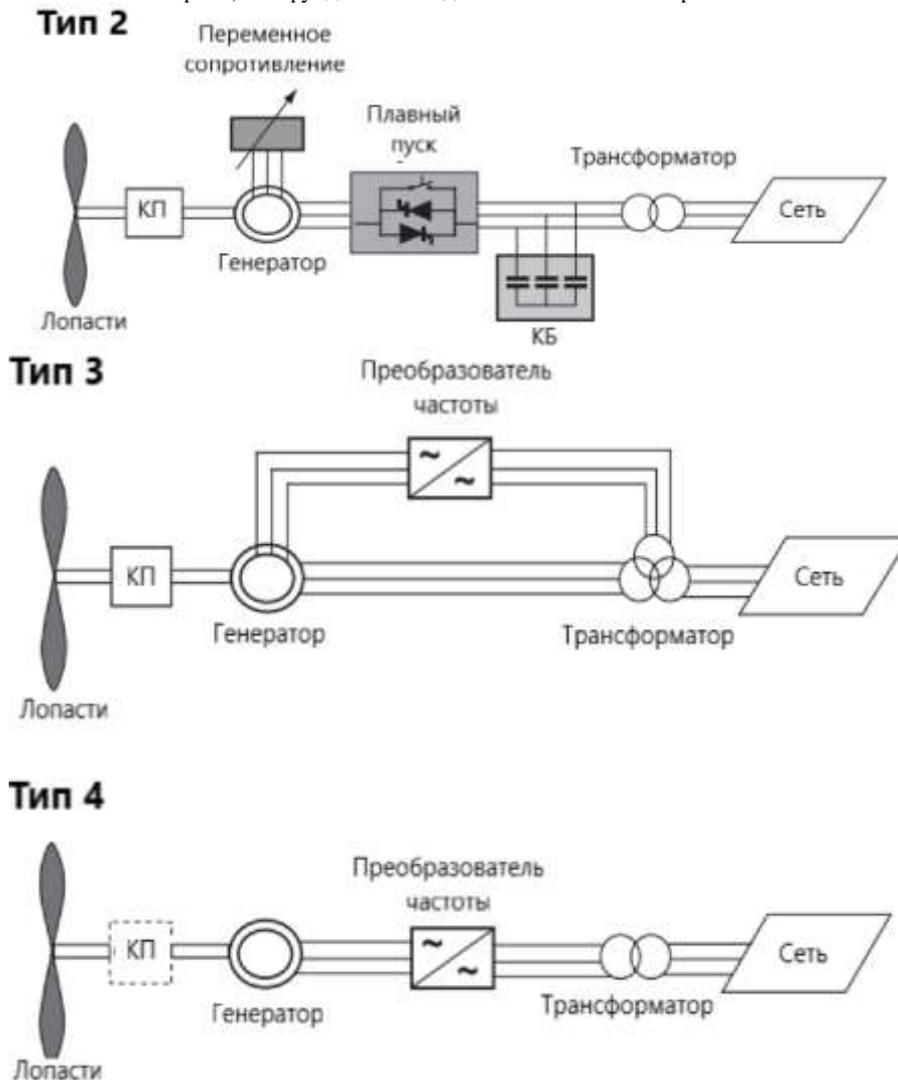


Рис. 1. Конфигурации ветроэнергетических установок в зависимости от регулировки скорости.  
Примечание: КБ – конденсаторная батарея; КП – коробка передач [2]