

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРА НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

И.Н. Гусаров

Томский политехнический университет,
ИШЭ, ОЭЭ, гр. 5АМ31

Научный руководитель: А.Б. Аскаров, к.т.н., старший преподаватель ОЭЭ ИШЭ ТПУ

Введение

Релейная защита выполняет автоматическое обнаружение повреждений и аномальных режимов в электрических системах энергосистемы и является важной автоматикой, которая обеспечивает надежную и стабильную работу этих систем.

Задачей данной работы является разработка программы, способной определять по графику тока нормальный режим и аварийный режим, подобно человеку. Для этой цели мы будем использовать программное пространство Python. Кроме того, для обучения и проверки правильности работы программы будет использован программный комплекс RSKAD, в котором будет реализована данная схема.

Разработка программы

В данной работе мы сосредоточимся на использовании классификатора нейронной сети, способного различать два режима: нормальный режим и аварийный режим. Для этого нейронная сеть будет состоять из трех слоев нейронов, связанных друг с другом через весовые коэффициенты.

Расчет весовых коэффициентов является ключевой задачей для нейронной сети. Для упрощения процесса можно использовать случайные значения, генерируемые с помощью функций случайных чисел. Такой метод расчета может быть долгим, поэтому для ускорения работы нейронной сети используется нормальное распределение Гаусса.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}. \quad (1)$$

Выбор функции активации

Для работы с нейронными сетями выбирается функция активации, которая усиливает слабые сигналы и ослабляет сильные сигналы. В данном исследовании мы выбираем функцию активации – сигмоида. Эта функция имеет особенность быстрого изменения значений в около нулевом диапазоне и медленного изменения на «краях» функции. Такая особенность позволяет работать с гармоническими сигналами, приводя каждое значение к одинаковому влиянию на обучение нейронной сети.

Метод градиентного спуска

Для оптимизации процесса обучения нейронной сети на больших объемах данных используется метод градиентного спуска. Этот метод помогает оптимизировать расчет ошибки и уменьшить время работы и число итераций.

Исследование схемы

Для выполнения начальной работы был выбран силовой трехфазный трансформатор с блочной конструкцией и соединением обмоток в виде звезда-треугольник. Его высшее напряжение составляет 220 кВ, а низшее – 10,5 кВ.

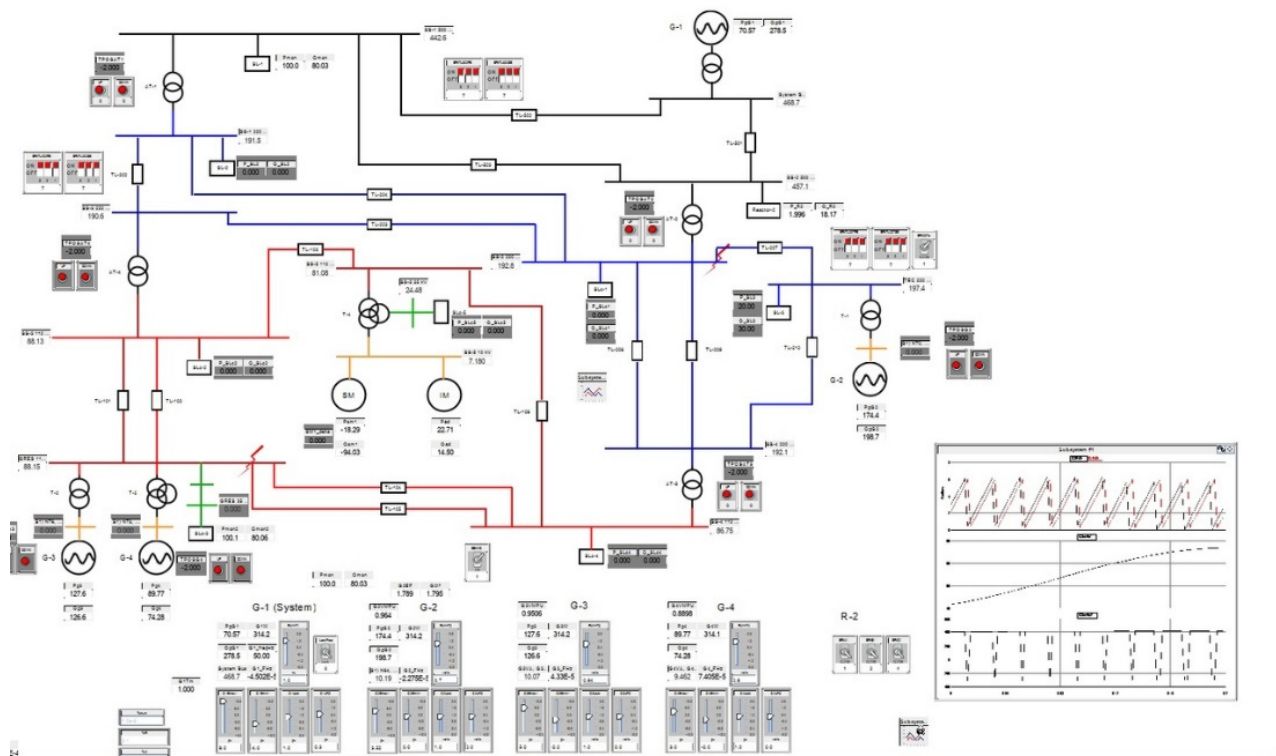


Рис. 1. Схема в программе

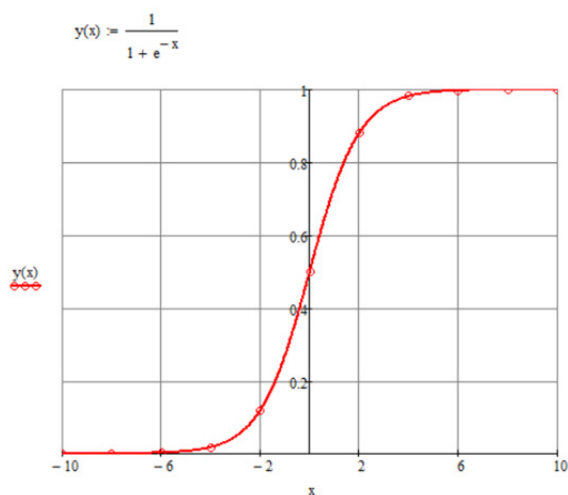


Рис. 2. Функция активация – сигмоида

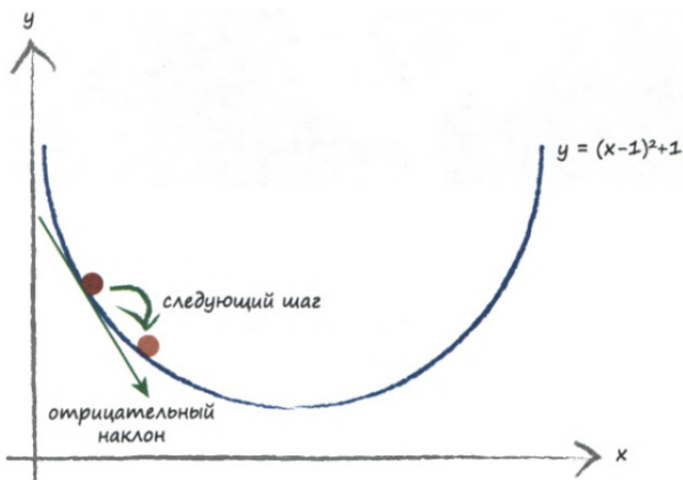


Рис. 3. Метод градиентного спуска [2]

На рис. 4: генератор с напряжением 10 кВ, силовой трансформатор мощностью 200 МВА, короткозамыкатель и шины. Также здесь присутствуют измерительные трансформаторы тока. Для обеспечения нормального режима работы необходимо определить коэффициент трансформации трансформаторов тока. Следовательно, максимальный рабочий ток на низшей стороне составляет 22 ± 2 кА, а на высшей – 1 ± 0 кА. Трансформатор позволяет получать мгновенные значения токов.

В программе предусмотрена работа генератора в режимах ШБМ и натурального моделирования, где частота вращения генератора зависит от его механического момента. Путем подключения генераторов в режим реального моделирования и соединения их с сетью можно смоделировать режим броска тока намагничивания.

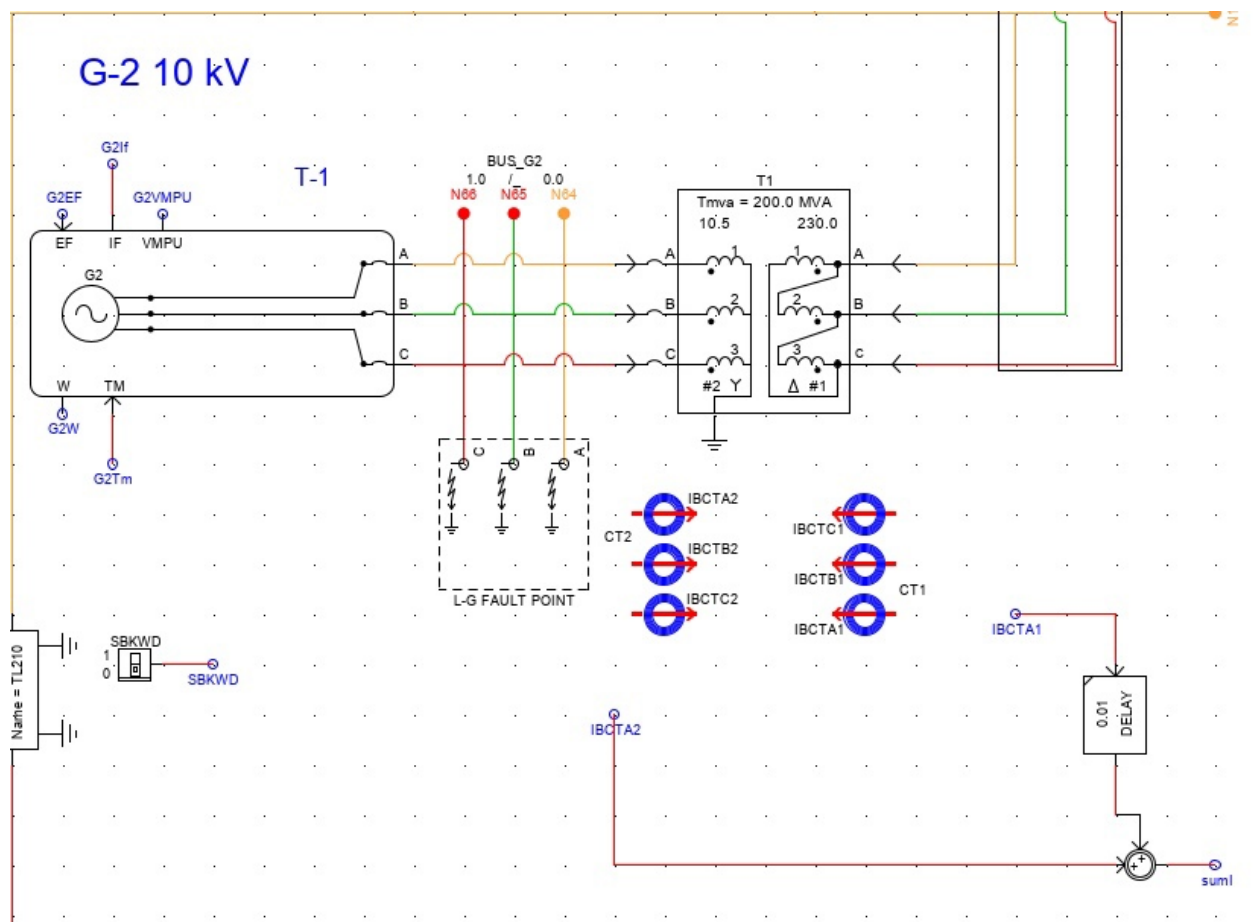


Рис. 4. Рабочий трансформатор для исследований

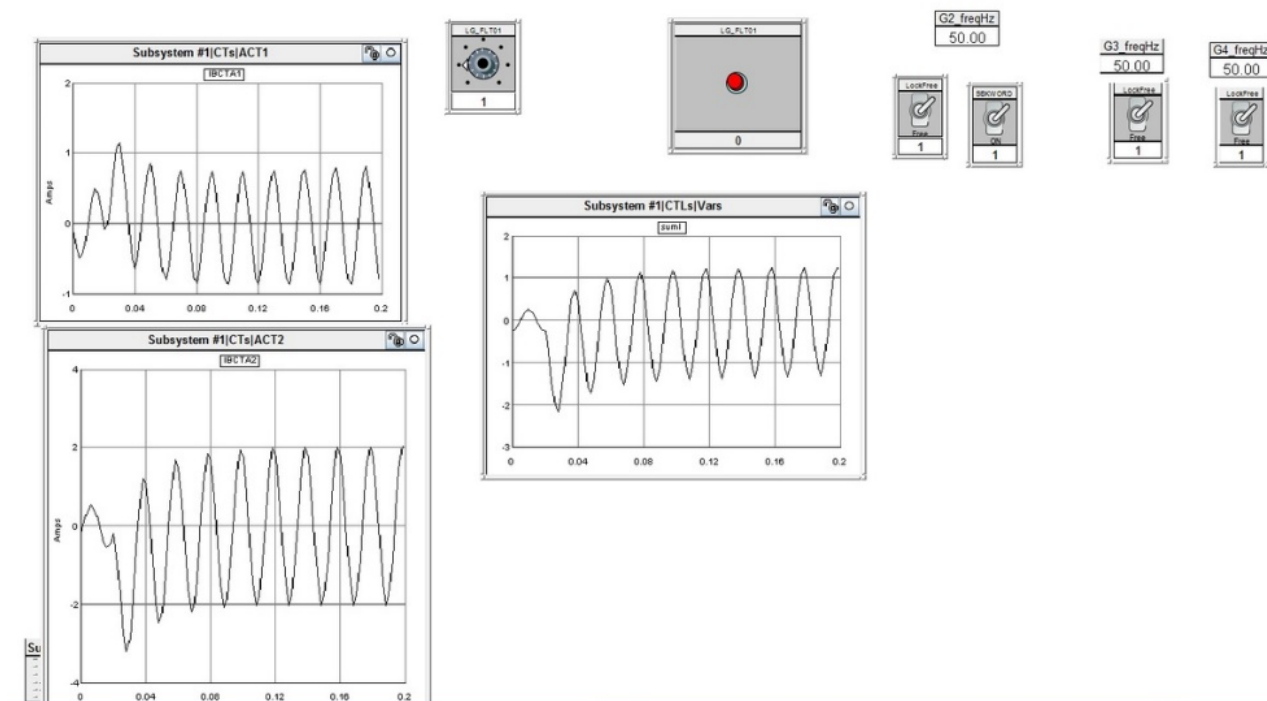


Рис. 5. График однофазного короткого замыкания

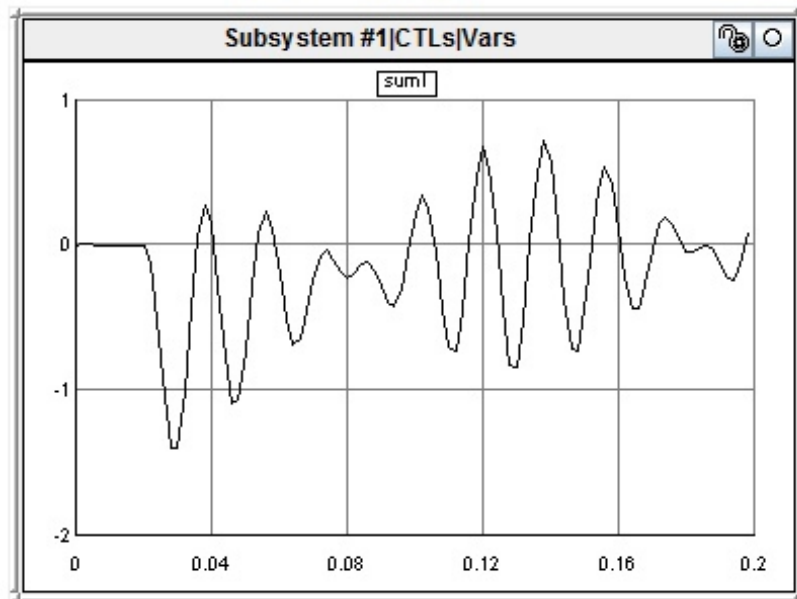


Рис. 6. График БНТ, смоделированный в программе

Далее полученные данные сохраняются в формате Excel и преобразуются в требуемый для нейронной сети вид. Таким образом, формируются два файла: тренировочный и тестовый.

```
C:\Users\Ivannavl\anaconda3\python.exe
1 :
Цепь в нормальном режиме
Ответ сети: цепь в нормальном режиме [0.99839203]
2 :
Цепь в нормальном режиме
Ответ сети: цепь в нормальном режиме [0.99897175]
3 :
Цепь в нормальном режиме
Ответ сети: цепь в нормальном режиме [0.99897175]
4 :
В цепи короткое замыкание
Ответ сети: в цепи аварийный режим [0.98845587]
Ответ сети: цепь в нормальном режиме [0.01323462]
5 :
В цепи короткое замыкание
Ответ сети: в цепи аварийный режим [0.82110218]
Ответ сети: цепь в нормальном режиме [0.02674388]
6 :
В цепи короткое замыкание
Ответ сети: в цепи аварийный режим [0.99942065]
Ответ сети: цепь в нормальном режиме [0.01775583]
7 :
В цепи БНТ
Ответ сети: в цепи БНТ [0.98287674]
8 :
В цепи БНТ
Ответ сети: в цепи БНТ [0.97664852]
9 :
В цепи БНТ
Ответ сети: в цепи БНТ [0.94242197]
10 :
В цепи БНТ
Ответ сети: в цепи БНТ [0.99965915]
correct answers: 10
false: 0
Эффективность работы сети: 100.0 %
Press any key to continue . . .
```

Рис. 7. Результаты работы сети

Заключение

В результате проведенных экспериментов была разработана нейронная сеть, способная распознавать несколько режимов с высокой точностью: нормальный режим, режим короткого замыкания и режим броска тока намагничивания. Такой алгоритм может служить как основной автономный защитный механизм, так и дополнительная защита для трансформатора. Оценка возможности применения данного алгоритма в электроэнергетической индустрии требует дальнейших серьезных исследований.

Дальнейшее развитие данного исследования может быть связано с разработкой алгоритмов дифференциальной защиты для трансформаторов с различными типами обмоток и заземлений, а также совмещением традиционных методов защиты с новыми технологиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

ОБЪЕДИНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ВИРТУАЛЬНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА И БЛОКА СИНТЕТИЧЕСКОЙ ИНЕРЦИИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

П.П. Радько¹, Ю.Д. Бай²

*Томский политехнический университет,
ИШЭ, ОЭЭ, гр. 5AM21¹; ИШЭ, ОЭЭ²*

Научный руководитель: Н.Ю. Рубан, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ

Введение

В связи с глобальной тенденцией перехода к возобновляемым источникам процент их внедрения в электроэнергетические системы постоянно растет. Однако динамика внедрения ВИЭ приводит к уменьшению постоянной инерции, что проявляется в появлении более стремительных переходных процессов, особенно связанных с изменением частоты при использовании традиционной системы управления силовым преобразователем.

В России проблема встает более остро, поскольку из-за большой территории много энергорайонов являются удаленными или даже изолированными (рис. 1) от единой энергосистемы [1]. Следовательно, при наличии объектов ВИЭ в таких районах любые возмущения будут приводить к резким изменениям режимных параметров, которые могут в свою очередь привести к тяжелым авариям.

Таким образом встает задача обеспечить на объектах ВИЭ, в данном исследовании на солнечной электростанции, инерционного отклика, сравнимого с тем, что наблюдается на традиционных источниках энергии, в сильных (в составе ЕЭС) и слабых (удаленных) сетях.

Существующие направления решения

Сгладить кривые мощности можно применением накопителей энергии, но это требует как капитальных, так и эксплуатационных расходов и в данной работе этот метод не рассматри-