

## ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВИДА И МЕСТА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЛЭП С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Блинов И.В., Зозуля А.М.

Институт электродинамики НАН Украины

igorblinov@mail.ru

Одной из важнейших задач организации функционирования электроэнергетических систем (ЭЭС), является обеспечение бесперебойности электроснабжения потребителей. Повреждение линии электропередач (ЛЭП) всегда сопровождается или недоотпуском электроэнергии или снижением надежности и качества электроснабжения. При этом определение места повреждения (ОМП) на ЛЭП представляет наиболее сложную, а часто и наиболее длительную технологическую операцию при восстановлении питания. Необходимо отметить, что поиск места повреждения осуществляется не только при устойчивом, но и самоустранившемся повреждении, так как в этом случае, определив с помощью средств ОМП место повреждения ЛЭП, можно выполнить профилактические ремонты. Несмотря на широкие исследования, проводимые в этой области [1, 2], научный поиск новых надежных и точных алгоритмов ОМП является актуальной и важной задачей.

Сегодня наибольшее распространение получила группа методов, основанная на измерении параметров аварийного режима (ПАР) [2, 3], которая делится на методы одностороннего и двухстороннего измерения таких параметров. Методы ОМП по ПАР, нашедшие применение на практике, имеют ряд недостатков, связанных с практической реализацией средств ОМП и погрешностью их работы. Методы ОМП при двухстороннем измерении ПАР чувствительны к погрешностям измерительных средств ОМП, а большинство методов одностороннего измерения теряют точность при возникновении переходного сопротивления в месте короткого замыкания (КЗ). При односторонних измерениях переходное сопротивление либо не учитывается, либо учитывается приближенно. По мере повышения точности учета, ОМП с односторонним измерением ПАР становится сравнимой с методами двухстороннего измерения, при котором переходное сопротивление исключается из расчетных соотношений.

В последнее время, наблюдается активное использование элементов искусственного интеллекта, в частности, искусственных нейронных сетей (ИНС) [4], для решения целого ряда электроэнергетических задач [5, 6], в том числе и задачи определения вида и места КЗ на ЛЭП [7 - 9].

Использование ИНС представляет большую практическую ценность особенно для решения задачи ОМП при одностороннем измерении ПАР, что обуславливается такими особенностями ИНС, как способность к обучению на определенных примерах, возможностью решения плохо формализованных задач. При этом, для обучения ИНС могут использоваться данные, полученные посредством моделирования ПАР. Речь идет, в общем случае, о значениях токов и напряжений в момент КЗ. Таким образом, методическая погрешность решения задачи ОМП основанных на применении ИНС, во многом зависит от адекватности выбранной модели ЛЭП.

Существующее многообразие различных типов ИНС позволяет использовать определенный стандартный тип ИНС для решения задачи, как определения вида, так и места КЗ на ЛЭП. При этом необходимо определить тип и архитектуру ИНС, обучить ИНС с минимально достаточным количеством нейронов в слое и слоев ИНС, позволяющую определить вид КЗ и получить результаты вычисления расстояния до места КЗ с заданной точностью за время не более заданного. Требование определения минимально достаточного количества нейронов в слое и слоев ИНС обуславливается в первую очередь необходимостью сокращения времени на обучение и работу ИНС. Очевидно, что чем меньше нейронов содержит ИНС, тем меньше требуется вычислительных ресурсов для ее обучения. Как правило, для определения вида и места КЗ на ЛЭП должны использоваться различные типы ИНС или ИНС одного типа с различной архитектурой. Это объясняется необходимостью решения задачи классификации для определения вида КЗ и аппроксимации функции для определения места КЗ на ЛЭП. При выборе ИНС необходимо руководствоваться тем, что в общем случае функциональные возможности ИНС возрастают с увеличением числа слоев, нейронов в слоях, плотности связей между нейронами ИНС, сложности алгоритмов функционирования ИНС, а также с введением обратных связей. Несмотря на то, что при выборе ИНС можно сделать некоторые достаточно надежные предсказания поведения ИНС с теми или иными параметрами, в целом дать строгие рекомендации по выбору типа и архитектуры ИНС для решения задачи ОМП ЛЭП весьма трудно и оптимальный вариант ИНС, в конечном счете, определяется экспериментальным путем. Эффективность решения задачи определение вида и места КЗ также зависит от выбора входных и выходных векторов, составления необходимого множества обучающих примеров, выбора значений параметров настройки ИНС, например, скорости обучения, начальных значений весов синапсов ИНС и т.д. При выборе архитектуры ИНС необходимо сравнение нескольких различных типов ИНС и их архитектур с различным количеством элементов. При этом основным показателем является объем обучающей выборки, обобщающая и аппроксимирующая способность ИНС для определения вида и места КЗ на ЛЭП соответственно.

Таким образом, можно отметить, что решение задачи ОМП ЛЭП с использованием ИНС требует учета множества различных факторов и предполагает прохождение ряда основных этапов приведенных в табл. 1.

Таблица 1 – Этапы решения задачи ОМП ЛЭП с использованием ИНС

№	Этапы	Шаг
1	Формирование выборки данных	1.1. Составление совокупности данных из примеров, характерных для задачи ОМП ЛЭП (значения токов и напряжений в момент КЗ в зависимости от расстояния до точки КЗ, величины переходного сопротивления в точке КЗ, режима работы ЛЭП и др.); 1.2. Разделение совокупности данных на две выборки: обучающую и тестовую. Возможно также разделение совокупности данных на обучающую, тестовую и контрольную выборки;
2	Выбор типа ИНС	2.1. Выбор типа ИНС предназначенного для решения задачи классификации образов (задача определения вида КЗ на ЛЭП); 2.2. Выбор типа ИНС предназначенного для аппроксимации функции (задача определения места КЗ на ЛЭП);
3	Предварительная обработка данных	3.1. Выбор системы кодирования выходных значений ИНС; 3.2. Преобразование соответствующим образом данных для подачи на входы ИНС, например, нормирование данных, под которым понимается преобразование данных к диапазону соответствующему диапазону выходных значений активационной функции нейронов ИНС;
4	Выбор архитектуры и обучение ИНС	4.1. Выбор архитектуры ИНС: количество слоев, число нейронов в слоях и т.д.; 4.2. Выбор функции активации нейронов ИНС; 4.3. Выбор алгоритма обучения ИНС;
5	Оценка качества ИНС	5.1. Оценка качества обучения и работы ИНС на основе тестовой выборки и погрешности обучения и работы ИНС; 5.2. Выбор окончательной архитектуры ИНС, которая обеспечивает минимальную требуемую ошибку обучения и работы ИНС;
6	Тестирование и применение ИНС для ОМП ЛЭП	6.1. Определение степени влияния различных факторов на результат работы ИНС (например, влияние расстояния до точки КЗ и величины переходного сопротивления в точке КЗ); 6.2. При необходимости внесение корректировок при формировании обучающей выборки данных или архитектуры и обучения ИНС; 6.3. Тестирование ИНС, подтверждение работоспособности и требуемой точности работы ИНС (число неправильно распознанных видов КЗ мало либо незначительная разница между реальным и полученным на выходе сети расстоянием до точки КЗ); 6.4. Практическое использование ИНС для решения задачи ОМП ЛЭП на основе измеренных интегральных ПАР.

Данные (этап 3 в табл.1), поступающие на вход ИНС, должны быть представлены в определенном формате (например, в цифровом), при этом вид представления данных оказывает существенное влияние на ход обучения ИНС. Необходимым является выбор метода кодирования данных перед предъявлением их на вход ИНС, под которым понимают процесс преобразования данных к виду, удобному для обучения ИНС. Также очевидно, что для обучения ИНС определению вида и места КЗ на ЛЭП, задача должна быть сформулирована в терминах набора входных векторов (значения ПАР) и ассоциированных с ними эталонных выходных значений (вида или расстояния до места КЗ). При обучении ИНС кроме кодирования данных необходимой является процедура преобразования данных представляющая собой статистическую обработку, используемую для выделения некоторых аспектов данных или наиболее важные элементы данных, например, представление данных меньшим количеством примеров или другим типом представления. Выбор представления данных при формировании обучающей выборки для ИНС требует учета двух основных показателей качества данных участвующих при обучении ИНС, к которым относятся количество примеров ПАР, определяющих размерность данных, а также «содержательность» поступающих на вход ИНС данных от которой зависит результат работы ИНС. Входными значениями для задачи ОМП кроме значений токов и напряжений в момент КЗ могут быть, например, взаимоиנדукция ЛЭП, температура окружающей среды, параметры нагрузочных режимов. Очевидно, что введение дополнительных ПАР приводит к увеличению количества элементов обучающей выборки, усложняет архитектуру ИНС и требует дополнительного времени на обучение ИНС. При этом, в общем случае, для упрощения архитектуры ИНС и сокращения времени ее обучения определению вида и места КЗ необходимо стре-



мится к минимизации количества входных переменных при обучении и работе ИНС и использовать только токи и напряжения в момент КЗ на ЛЭП.

Проверка качества обучения (этап 5 в табл. 1) и работы ИНС требует составления тестовой и контрольной выборки данных. На тестовой выборке проверяется погрешность обучения ИНС, поэтому такая выборка косвенно участвует в процессе обучения ИНС и не должна применяться для проверки погрешности работы ИНС, что приводит к необходимости формирования контрольной выборки данных. Тестовая и контрольная выборки, формируемые случайным образом, должны включать данные со значениями из всего диапазона изменения и быть достаточно представительными, что должно подтверждаться сравнением среднего значения и диапазона изменения с аналогичными параметрами всей совокупности данных.

Таким образом, доступность и целостность данных составляют наиболее важный фактор успешного обучения ИНС. Поэтому формируемая модель ЛЭП, применяемая для расчета токов и напряжений в момент КЗ при подготовке данных для обучающей, тестовой и контрольной выборки данных должна учитывать множество различных факторов. К таким факторам относятся: параметры и сложная взаимная индукция ЛЭП, возможность изменения в широких пределах переходного активного сопротивления в месте КЗ, различие ЭДС систем по величине и углу, коэффициенты трансформации трансформаторов и автотрансформаторов, вид и расстояния до места КЗ, а также параметры нагрузочных режимов и электромеханических переходных процессов. Учитывая приведенные требования, при практической реализации программного обеспечения средства ОМП, представляется целесообразным разделять задачу определения вида и места КЗ на ЛЭП с использованием ИНС на две относительно обособленные задачи. К первой относится получение, при помощи моделирования аварийных режимов работы ЛЭП, значений токов и напряжений в зависимости от вида и места КЗ на ЛЭП, а ко второй использование полученных значений для определения вида и вычисления места КЗ на основе ИНС. Получение данных для обучения ИНС необходимо проводить при помощи специализированных программных комплексов автоматизированных расчетов аварийных режимов и токов КЗ в сложных электрических сетях электроэнергетических систем и объединений [10], так как использование такого инструментария позволяет создавать наиболее адекватные модели ЛЭП и режимов их работы.

Таким образом, сформированная с учетом приведенных особенностей совокупность данных используемых для обучения ИНС определению вида КЗ и расстояния до места КЗ при одностороннем измерении ПАР, позволяет учесть изменение в широких пределах значения переходного сопротивления в месте КЗ. Кроме того, невысокая чувствительность ИНС к погрешностям измерительных средств ОМП и влиянию свободных составляющих переходного электромагнитного процесса, представляет собой дополнительное преимущество использования ИНС, как при односторонних, так и при двухсторонних измерениях ПАР.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аржанников Е.А., Лукоянов В.Ю., Мисриханов М.Ш. Определение места короткого замыкания на высоковольтных линиях электропередачи / Под ред. В.А. Шуина. - М.: Энергоатомиздат, 2003. - 272 с.
2. Шалыт Г.М. Определение мест повреждения в электрических сетях. - М.: Энергоатомиздат, 1982. - 312 с.
3. Стогний Б.С., Рогоза В.В., Сопель М.Ф., Голубов О.Ю. Определение места однофазного замыкания на землю. - Технічна електродинаміка. - №2, 2007. - С. 60 – 63.
4. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс 2-е издание.: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2006. - 1104 с.
5. Буткевич О.Ф., Павловский В.В. Штучний інтелект та гібридні системи у розв'язанні задач електроенергетики. поточний стан та тенденції. - Праці ІЕД НАНУ. – № 1 (4), 2003. - С.109-117.
6. Kezunovic M. Intelligent systems in protection engineering. Power System Technology, 2000. Proceedings. PowerCon 2000. International Conference on. Vol. 2, 2000. Page(s): 801-806.
7. Osowski S.; Salat R. Fault location in transmission line using hybrid neural network Int. J for Computation and Maths. in Electrical and Electronic Eng., Vol. 21, № 1, 2002. Page(s): 18-30.
8. Bouthiba T. Fault location in EHV transmission lines using artificial neural networks. Int. J. Appl. Math. Comput. Sci., Vol. 14, No.1, 2004 Page(s): 69–78.
9. Блинов И.В. Определение вида короткого замыкания ЛЭП на основе искусственных нейронных сетей. - Технічна електродинаміка. Тем. вип. Силова електроніка та енергоефективність. Ч.5, 2007. - С. 49-52.
10. Крылов В.А., Романенко Н.П., Колесникова Н.Ф., Свирид А.С., Козлова Е.И., Литвинова О.А., Герман А.И. Программный комплекс V-VI-50ПЗ автоматизированных расчетов на ПЭВМ аварийных режимов и уставок РЗ в сложных электрических сетях. - Збірник "Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України" №2(1), 2005 С. 19-21.