

УДК 621.316.925.1

Е.И. КИРЮХИНА, аспирант (ВолгГТУ)  
Научный руководитель А.А. ШИЛИН, к.т.н., доцент (ВолгГТУ)  
г. Волгоград

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Самым ненадежным элементом систем электроснабжения являются воздушные линии электропередачи (ВЛЭП) из-за их большой протяженности и влияния на них большого числа различных внешних воздействий. В городских сетях около 85% отключений приходится на долю ВЛЭП, а в сельских сетях – 90-95% [1]. Отказом ВЛЭП называется всякое вынужденное отключение при её повреждениях. Причинами аварий могут быть природные условия, а также человеческий фактор, в т. ч. ошибки оперативного персонала.

Основным видом повреждений линий являются КЗ. Наиболее часто встречаются однофазные замыкания на землю. На их долю приходится до 65% общего числа замыканий. Трехфазное КЗ – наиболее распространенный вид повреждения, вызывающий появление наибольших токов КЗ. Поэтому трехфазное КЗ является расчетным при определении максимального тока КЗ.



Рисунок 1 - Блок-схема устройства релейной защиты

Для предотвращения аварийных режимов в системах электроснабжения предусмотрена релейная защита (РЗ), которая регистрирует повреждение и подает сигнал на отключение. Таким образом, РЗ является основным видом электрической автоматики, без которой невозможна нормальная работа энергосистем и электрических сетей. Блок-схема РЗ (рис.1) содержит следующие основные органы [2]:

- измерительный орган (ИО), непрерывно контролирующий состояние защищаемого объекта и определяющий условия срабатывания (или несрабатывания) в соответствии со значениями параметров электрических

сигналов, поступающих на его вход от измерительных преобразователей трансформаторов тока и напряжения;

- логический орган (ЛО), принимающий от исполнительного органа дискретные сигналы, формирующий логические сигналы и подающий выходной сигнал о срабатывании РЗ на управляющий орган (УО);

- управляющий (исполнительный) орган, формирующий на основе сигнала ЛО управляющее воздействие на выключатель Q защищаемого объекта;

- источник стабилизированного питания (ИСП), необходимый для приведения в действие ЛО и УО, а также питания ИО.

Принцип действия защиты основан на сравнении токов фаз с током срабатывания защиты, при превышении в любой из фаз тока уставки, защита подает сигнал на отключение выключателя защищаемой линии мгновенно (Токовая отсечка (ТО) без выдержки времени) или с выдержкой времени (0,3...0,6 с). Селективность действия защиты достигается ограничением зоны её работы около 80% от длины защищаемой линии. Это достигается отстройкой пусковых органов защиты от максимального возможного тока КЗ на шинах противоположной подстанции, получающей питание по защищаемой линии. ТО не должна работать при КЗ за пределами своей зоны действия, а также на смежных участках сети, защиты которых имеет выдержку времени, равную или большую, чем выдержка времени отсечки. Поэтому ток срабатывания отсечки должен быть больше максимального тока КЗ, проходящего через токовое реле отсечки при повреждении в конце участка [2]. Ток КЗ зависит от сопротивления участка линии до точки КЗ, которое в свою очередь является функцией различных факторов, таких как температура провода, погодные условия, время года, сопротивление грунта, величина нагрузки и т.д.

Вследствие этого, уставки РЗ не всегда удовлетворяют необходимым требованиям, поскольку в реальных устройствах ток срабатывания реле задается жестко, т. е. непосредственно по расчетным формулам. Для того чтобы повысить чувствительность РЗ предлагаем ввести элемент *искусственной нейронной сети* (ИНС).

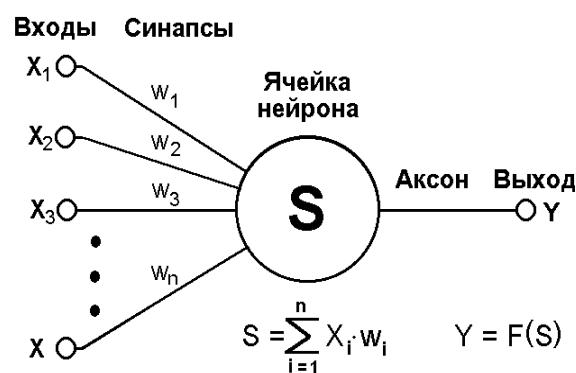


Рисунок 2 - Схема нейронной сети

Основу нейронной сети составляет нейрон (рис.2) — элемент, который имитирует работу нейронов мозга [3]. Нейрон характеризуется своим состоянием и, по аналогии с реальным нейроном, может быть либо возбуждён — либо заторможен. Как видно — у нейрона есть входы (синапсы), которые соединены с выходами других нейронов. И есть выход (аксон) сигнала с которого поступает на синапсы других нейронов. Каждый синапс характеризуется величиной синаптической связи — её так же называют весом  $W_k$ . Состояние нейрона определяется, как сумма состояний его входов. Как следует из схемы (рис. 3) — значение на входе синапса умножается на вес данного синапса, потом все эти значения суммируются и получается текущее состояние нейрона. Значение на выходе нейрона — это функция от его состояния.

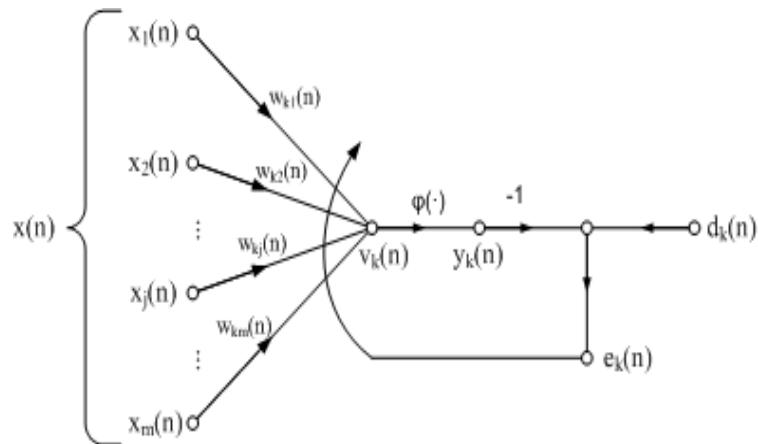


Рисунок 3 - Граф нейронной сети

Другое не менее важное свойство — способность к обучению и обобщению накопленных знаний. Можно выделить два подхода: обучение с учителем и обучение без учителя. При обучении с учителем предполагается, что, помимо входных сигналов, составляющих вектор  $x$ , известны также и ожидаемые выходные сигналы нейрона  $d_k$ , составляющие вектор  $d$ . В подобной ситуации подбор весовых коэффициентов должен быть организован так, чтобы фактические выходные сигналы нейрона  $y_k$  принимали бы значения, как можно более близкие к ожидаемым значениям  $d_k$ . Ключевым моментом процесса обучения с учителем является знание ожидаемых значений  $d_k$  выходного сигнала нейрона. Таким образом, фактический сигнал на выходе  $n$ -ного нейрона сравнивается с желаемым откликом, в результате чего мы получаем сигнал ошибки  $e_k(n)$  [3]:

$$e_k(n) = d_k(n) - y_k(n).$$

Сигнал ошибки инициализирует механизм управления, цель которого заключается в применении последовательности корректировок к синаптическим весам нейрона. Эти изменения нацелены на пошаговое изменение

ние выходного сигнала к желаемому. Эта цель достигается за счет минимизации индекса производительности, определяемый в терминах сигнала ошибки, который представляет текущее значение энергии ошибки  $E(n)$  [3]:

$$E(n) = \frac{1}{2} e_k^2(n).$$

Пошаговая корректировка синаптических весов нейрона продолжается до тех пор, пока система не достигнет устойчивого состояния, т. е. такого при котором синаптические веса практически стабилизируются. В этой точке процесс обучения останавливается. Другими словами, корректировка, применяемая к синаптическому весу нейрона, пропорциональна изменению сигнала ошибки на входной сигнал его вызвавший.

К широким прикладным возможностям нейронных сетей следует отнести и способность к решению задач прогнозирования, т.е. предсказания будущей реакции системы по её предшествующему поведению. Накапливающая статистические данные, включающие в себя информацию о времени, координатах, погодных условиях, сопутствующих возникновению аварийных режимов ВЛЭП или их исключающих, нейронная сеть вырабатывает решение, каким будет наиболее вероятное состояние линии. Сравнивая после этого прогноз и реальное состояние системы, ИНС определяет погрешность прогнозирования и использует это значение для дальнейшей адаптации весовых коэффициентов, т.е. изменения силы синаптических связей между нейронами.

Чаще всего для задач прогнозирования используется нейронная сеть в виде персептрона с одним скрытым слоем и сигмоидальной функцией активации. Один из популярных вариантов аппаратной реализации нейронных сетей заключается в использовании для этой цели сигнальных процессоров. Моделирование нейронных сетей на сигнальных процессорах осуществляется программным способом, что позволяет в случае необходимости легко модифицировать используемый алгоритм и структуру сети.

#### Список литературы:

1. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения [Текст]: учебник для вузов. 4-е изд. перераб. и доп. / В.А. Андреев. – М.: Высш. шк., 2006. – 639 с.
2. Шнеерсон, Э.М. Цифровая релейная защита [Текст] / Э.М. Шнеерсон. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 549 с.
3. Ясницкий, Л.Н. Введение в искусственный интеллект [Текст]: учеб. пособие / Л.Н. Ясницкий. – М.: Академия, 2008. – 176 с.