

Выходные данные для контроллера становятся входными для нейросети, а для обучения применяется метод обратного распространения ошибки. После обучения, нейронная сеть способна генерировать значения управляющего воздействия в зависимости от желаемого выхода объекта управления. То есть, нейронная сеть может производить действия, которые приведут объект управления в заданное состояние.

Нейронная сеть, обученная таким образом, называется нейроэмулятором.

Гибридное нейруправление – это симбиоз стандартных регуляторов классической теории регулирования и нейросетевых контроллеров.

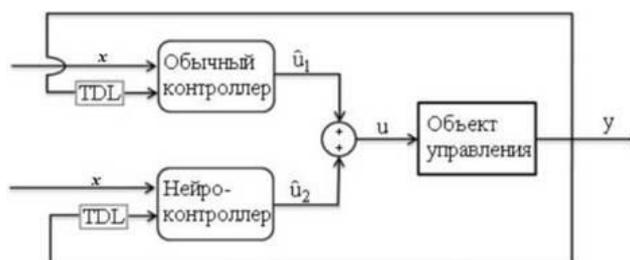


Рис. 3. Параллельное нейрорегулирование

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Spravochnik.ru: Нейросетевой регулятор. [Электронный ресурс]. – URL: [https://spravochnik.ru/avtomatizaciya\\_tehnologicheskikh\\_processov/neurosetevoy\\_regulyator/](https://spravochnik.ru/avtomatizaciya_tehnologicheskikh_processov/neurosetevoy_regulyator/) (Дата обращения 02.11.2023).
2. Emkelektron.webnode.page: Интеллектуальные системы управления на основе искусственных нейронных сетей. [Электронный ресурс]. – URL: <https://emkelektron.webnode.page/news/intellektualnye-sistemy-upravleniya-na-osnove-iskusstvennykh-nejronnykh-setej/> (Дата обращения 02.11.2023).
3. Макаренков В.М., Азябин С.В., Говердовский А.Д. Современные нейроконтроллеры: обзор решений и анализ возможностей для применения в интеллектуальных системах // Сборник научных трудов. 14-я молодежная научно-техническая конференция «Научоемкие технологии и интеллектуальные системы 2012». – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 25–26 апреля 2012 г. – С.159–164.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗНОЙ ЗАЩИТЫ В СРЕДЕ МАТЛАВ

М.С. Исоев

*Казанский государственный энергетический университет,  
ИЭЭ, РЗА, гр. АУСм-1-22*

Научный руководитель: Ю.В. Писковацкий, к.т.н., доцент ИЭЭ КГЭУ

Дифференциально-фазная защита – основная защита воздушной линии электропередачи с абсолютной селективностью. Принцип работы основан на сравнении фаз токов с обеих сторон линии с помощью полуккомплектов БМРЗ-ДФЗ, установленных на противоположных концах. Полуккомплекты соединены друг с другом либо по ВЧ, либо по ВОЛС каналам связи [1]. Разработка модели, которая реализует алгоритм защиты линии на основе дифференциальной защиты, проведение успешных экспериментов для демонстрации корректности работы модели поможет понять логику защиты и принцип работы БМРЗ-ДФЗ. Для этого используется упрощенная структурная схема дифференциально-фазной защиты, которая изображена на рис. 1, где ОМ – орган управления передатчиком или манипуляцией; ОСФ – орган сравнения фаз токов.

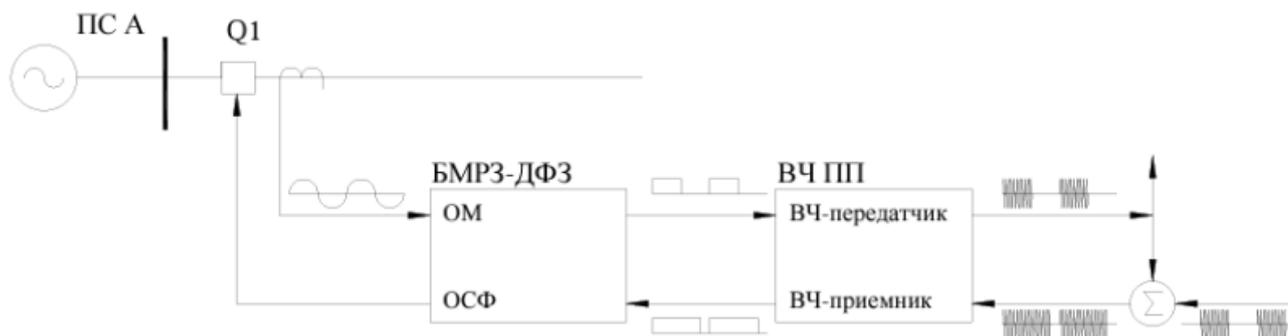


Рис. 1. Структурная схема дифференциально-фазной защиты

На рис. 2 изображена упрощенная схема взаимодействия двух полукомплектов дифференциально-фазной защиты. При внешнем коротком замыкании в точке К1 токи, протекающие по двум концам защищаемой линии, будут находиться в противофазе, сдвинуты друг относительно друга на  $180^\circ$ . Это приведет к образованию сплошного сигнала в высокочастотном канале связи и вызовет отказ защиты.

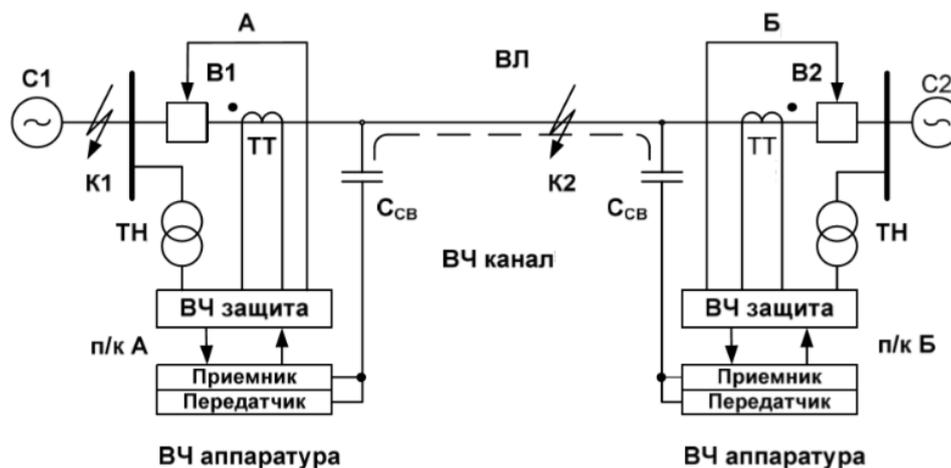


Рис. 2. Упрощенная схема взаимодействия двух полукомплектов дифференциально-фазной защиты

При обрыве в точке К2, что соответствует внутреннему короткому замыканию, токи, протекающие по двум концам защищаемой линии, будут синфазными и почти равными, что приводит к формированию прерывистого сигнала – меандра в высокочастотном канале связи, и защита срабатывает.

Для работы была создана модель защищаемой линии и блок дифференциально-фазной защиты в программном комплексе MATLAB. Модель со следующими параметрами:  $U_c = 110$  кВ;  $l = 95$  км; уставка органа управления передатчиком или манипуляции (ОМ) по коэффициенту комбинированного фильтра токов  $K_\Phi = 3,0$ ; уставка пускового органа (ПО) (отключающая) для каждого из полукомплектов  $I_{л\text{откл}} = 79,7$  А; уставка органа сравнения фаз токов (ОСФ) по углу, при котором происходит блокирование действия защиты на отключение, регулируется в пределах  $\pm 40^\circ$  до  $\pm 65^\circ$ ; уставка длительности скважности: половина периода =  $0,01$  с =  $180^\circ$ . Срабатывание при наличии скважности длительностью более 20 % (примерно  $40^\circ$ ) от половины периода ( $t = 0,008$  с); изображена на рис. 3.

В работе был проведен ряд экспериментов, а именно: 1. Короткое замыкание в точке К1 – однофазное КЗ на землю в середине линии; 2. Короткое замыкание в точке К2 – двухфазное КЗ в конце линии; 3. Короткое замыкание в точке К3 – трехфазное КЗ со стороны источника.

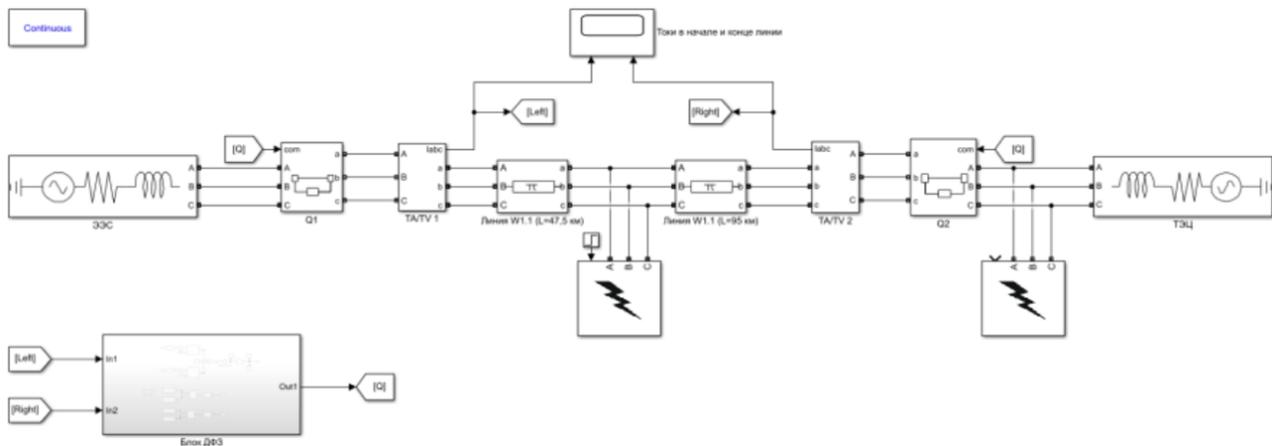


Рис. 3. Модель сети в MATLAB

В каждом эксперименте были получены осциллограммы, на которых виден первичный ток фаз А, В, С; ток на входе пускового органа, ток сложения токов  $I_1$  и  $I_2$ ; ВЧ импульсы на приемнике.

Поскольку схема симметрична, измерения проводились только для одного из полукомплектов.

Осциллограммы при коротком замыкании в точке К1 изображены на рис. 4 и 5 и при К3 в точке К3 на рис. 6 и 7.

После проведения серии экспериментов и анализа осциллограмм можно сделать вывод, что разработанный алгоритм дифференциальной защиты по фазе успешно срабатывает при коротком замыкании в пределах защищаемой линии, но не срабатывает при внешнем повреждении.

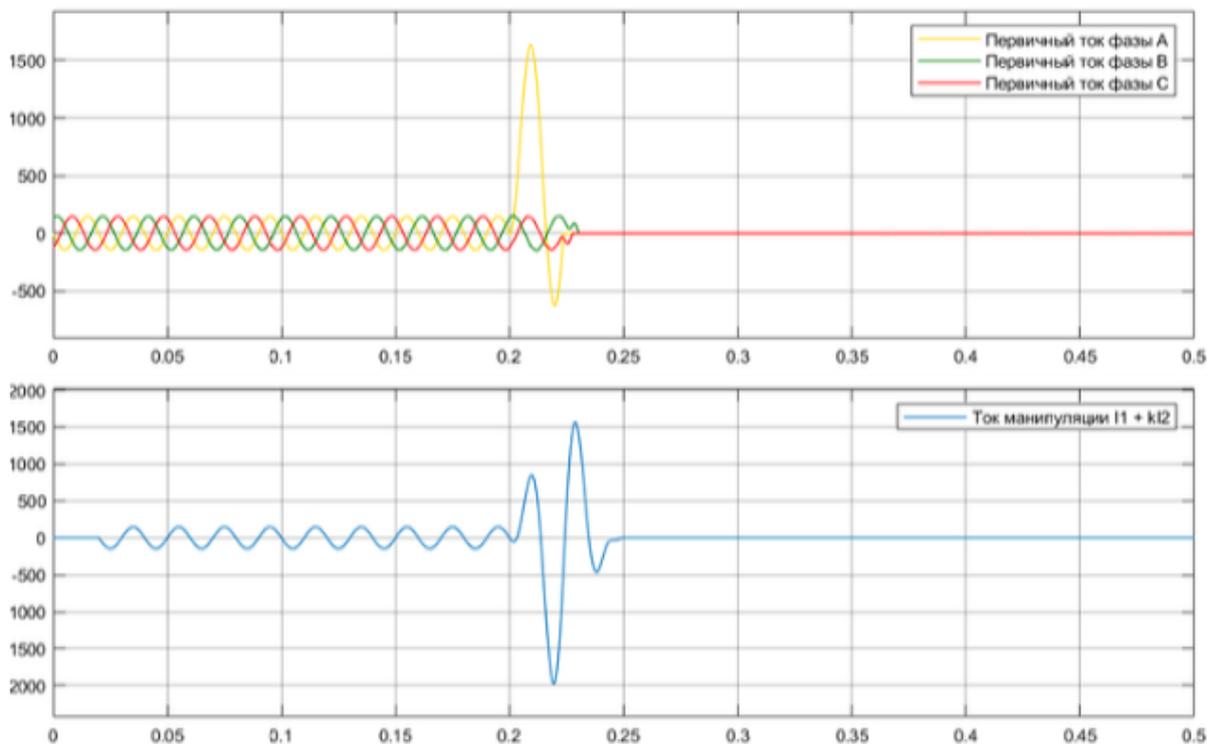


Рис. 4. Осциллограмма при КЗ в точке К1

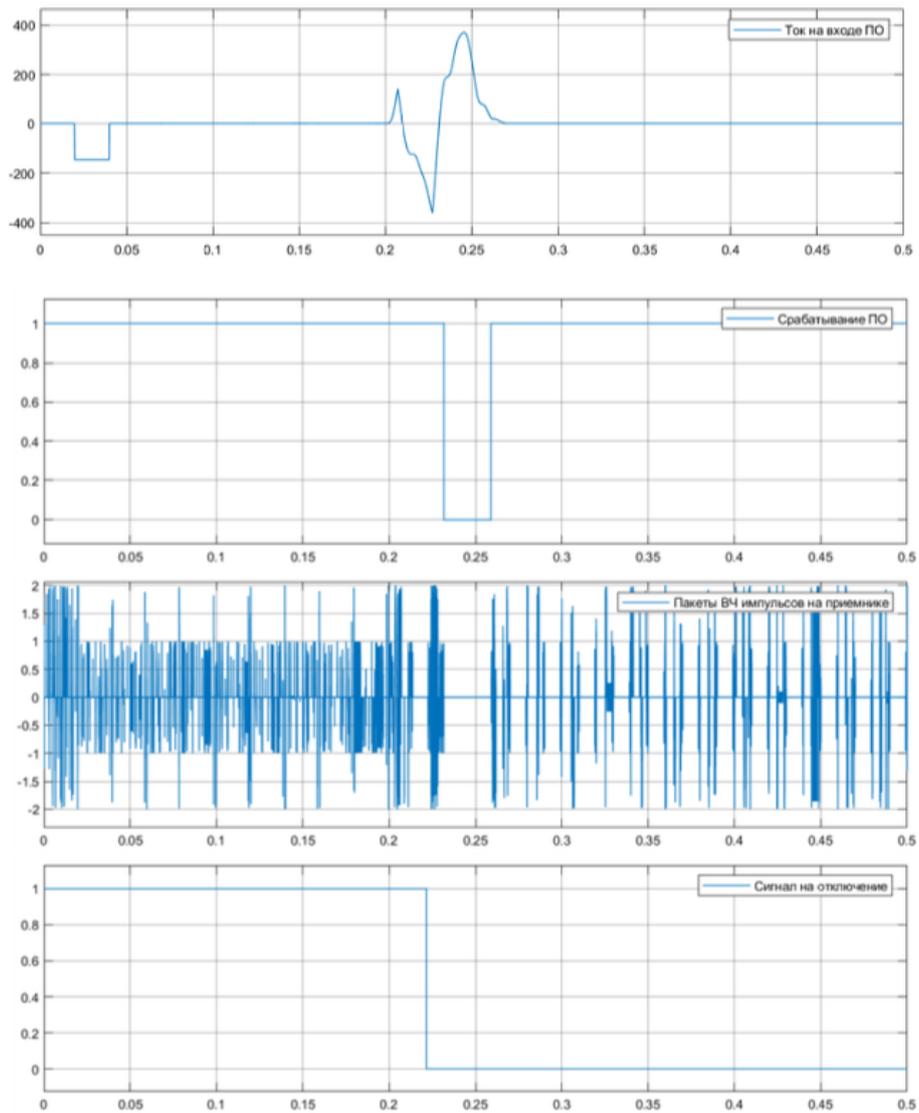


Рис. 5. Осциллограмма при КЗ в точке К1

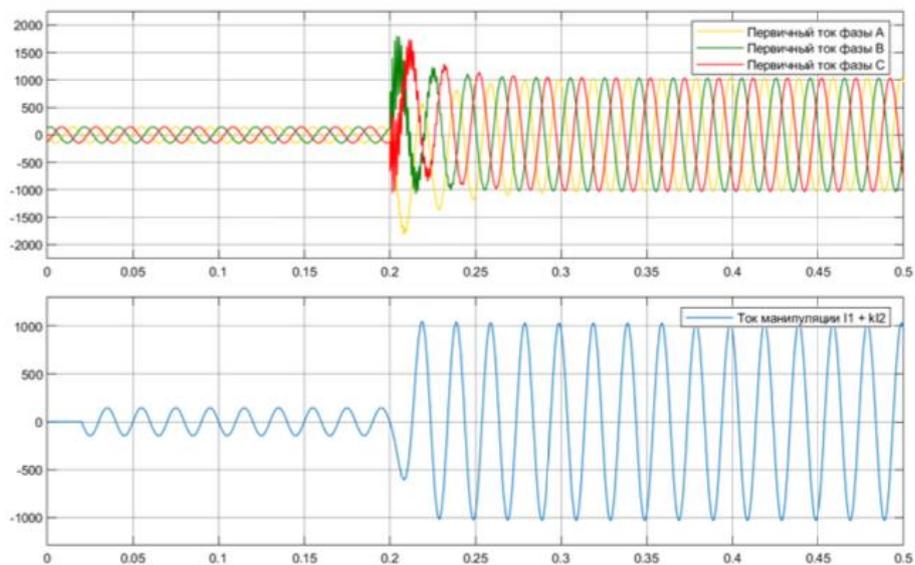


Рис. 6. Осциллограмма при КЗ в точке К3

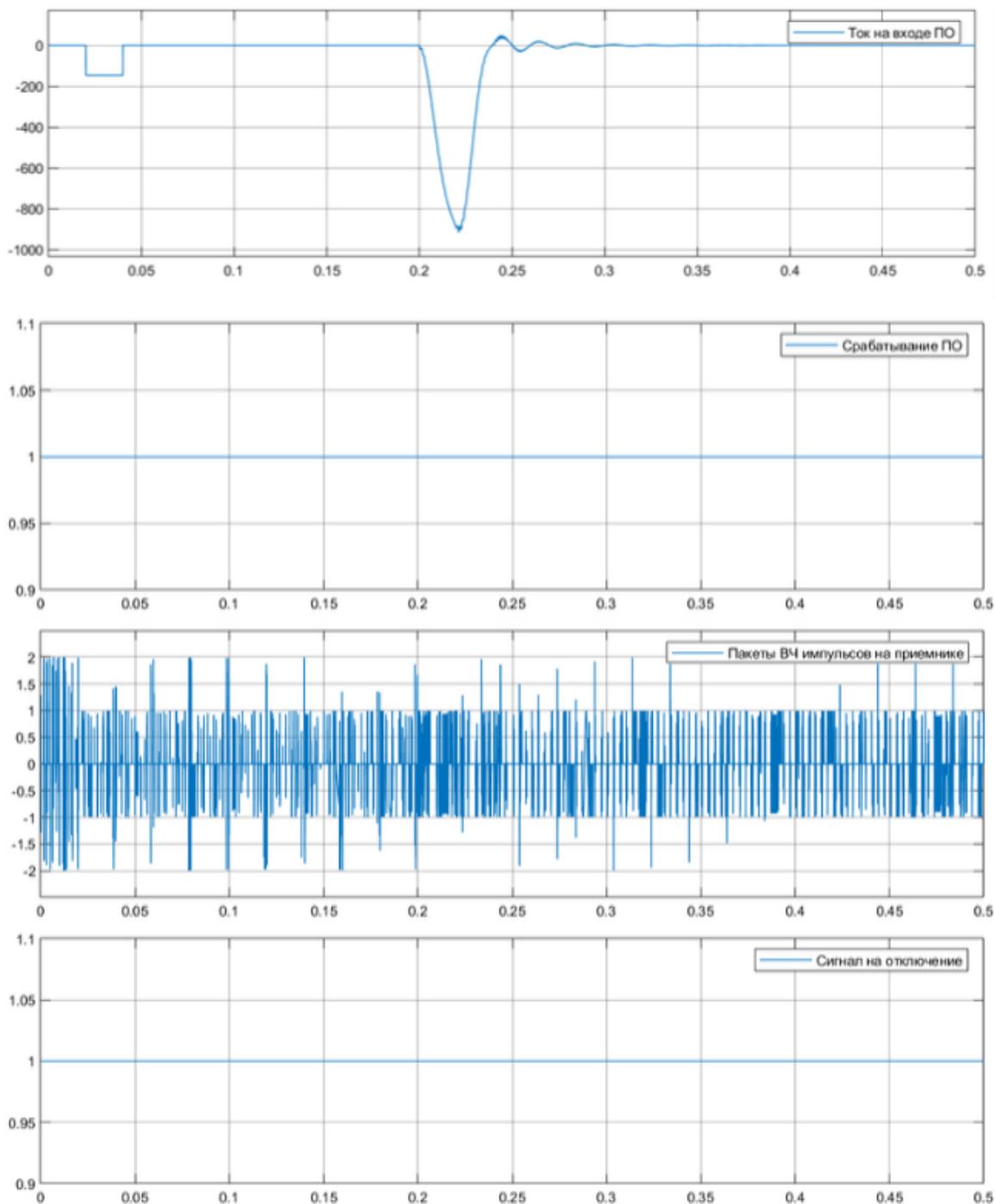


Рис. 7. Осциллограмма при КЗ в точке КЗ

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СТО ДИВГ.648228. .080-14.03 РЭ1. Блок микропроцессорной релейной защиты БМРЗ – ДФЗ-51. Руководство по эксплуатации. – СПб.: НТЦ Механотроника, 2020.
2. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 7-е изд. Глава 3.2, раздел 3. – М. : Ростехнадзор, 2010. – 411 с.
3. Гранская А.А. Применение системы векторных измерений на цифровой подстанции // XXVI Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика, 2023. – С. 348–351.