

ПРИМЕНЕНИЕ MATLAB SIMULINK ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

Козьмина Ирина Сергеевна

кандидат технических наук, доцент кафедры теоретических основ электротехники

Зыкина Анастасия Николаевна

студент

Максимов Роман Сергеевич

студент

Национальный исследовательский университет «МЭИ», г.Москва

Аннотация. Для более глубокого и детального понимания работы таких важных для энергетики устройств, как релейная защита, предложено разработать модель дистанционной защиты, используя широкий спектр возможностей Matlab Simulink. Испытания разработанной модели в режимах короткого замыкания и качаний позволят анализировать корректность работы реализованного алгоритма и визуализировать динамику работы защиты.

Ключевые слова: дистанционная защита, параметр срабатывания, реле сопротивления, зона срабатывания.

В сети с несколькими источниками питания в качестве резервной защиты линий от междуфазных коротких замыканий используется дистанционная защита (ДЗ). Основным органом ДЗ является реле сопротивления, которое, измеряя сопротивление линии до места короткого замыкания, определяет, на каком участке произошло повреждение и совместно с другими органами защиты обеспечивает ее действие с необходимой выдержкой времени. Далее будет рассмотрена ДЗ с тремя зонами действия. Первая зона защищает 85—90% длины защищаемой линии. Конец защищаемой линии, шины приемной подстанции и часть смежной линии охватывает вторая зона, а также применяется третья зона, которая резервирует смежную и основную линию при отказе их защиты или выключателей.

В данной работе реализовано реле сопротивления с многоугольной характеристикой. Условие срабатывания такого реле сопротивления – попадание внутрь многоугольника, т.е. пространство, ограниченное прямыми линиями. Уравнение прямой линии записывается в координатах плоскости комплексного сопротивления $\underline{Z}_p$:

$$X_p = k_{nm} R_p + b_{nm},$$

$$\text{где } k_{nm} = \frac{X_n - X_m}{R_n - R_m}, \quad b_{nm} = X_n - k_{nm} R_n.$$

Для составления алгоритма работы ДЗ в Matlab Simulink выбраны конкретные характеристики срабатывания (рис.1) реле сопротивления ступеней ДЗ, реализующейся в шкафу ШЭ2607 021 фирмы ЭКРА. Выбранные параметры характеристик срабатывания (табл.1) соответствуют допустимому диапазону изменения параметров ДЗ линий для шкафа ШЭ2607 021.

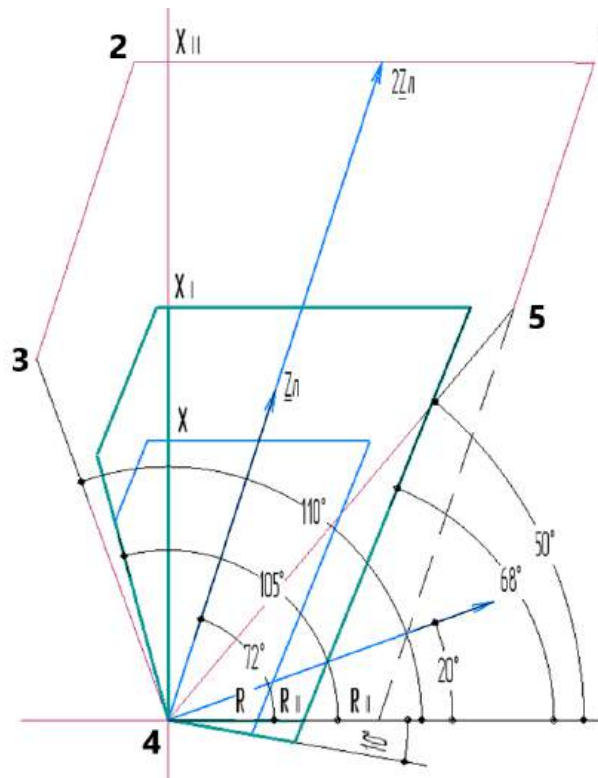


Рисунок 1. Многоугольная характеристика срабатывания ДЗ

Таблица 1. Параметры характеристик срабатывания ступеней ДЗ

	X_p , Ом	R_p , Ом
1 ступень	28	8
2 ступень	37	12
3 ступень	60	19

Попадание во внутрь многоугольника описывается пятью неравенствами:

$$X_p \leq k_{12}R_p + b_{12};$$

$$X_p \leq k_{23}R_p + b_{23};$$

$$X_p \geq k_{34}R_p + b_{34};$$

$$X_p \geq k_{45}R_p + b_{45};$$

$$X_p \geq k_{51}R_p + b_{51};$$

Реле должно срабатывать при выполнении всех пяти неравенств. Невыполнение хотя бы одного неравенства означает отсутствие условий срабатывания.

Реализация алгоритма в Matlab Simulink

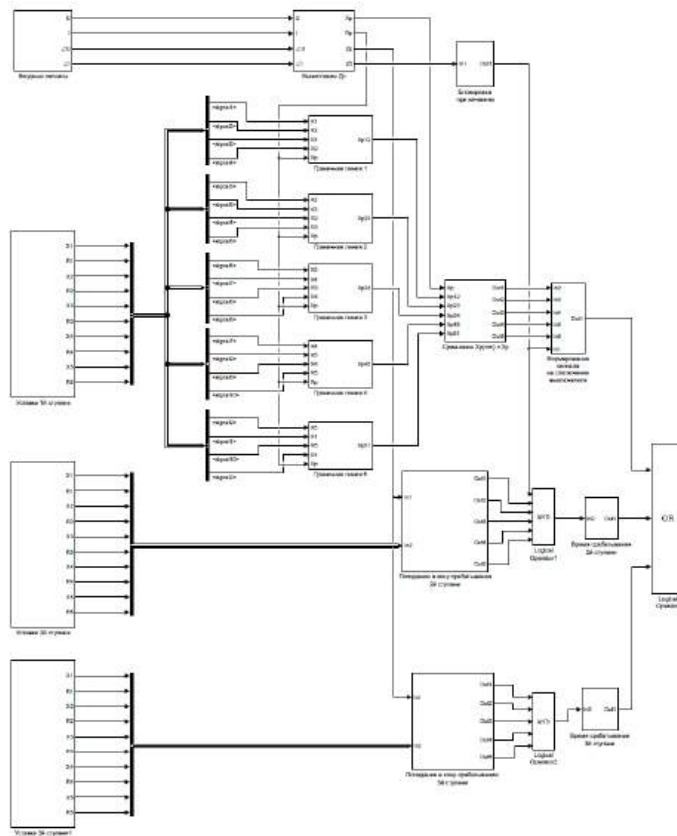


Рисунок 2. Модель дистанционной защиты в Matlab Simulink

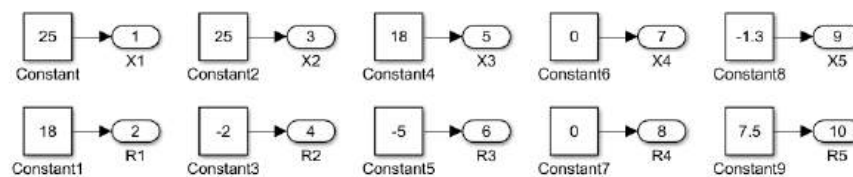


Рисунок 3. Задание координат особых точек характеристики срабатывания (пример для 1й ступени)

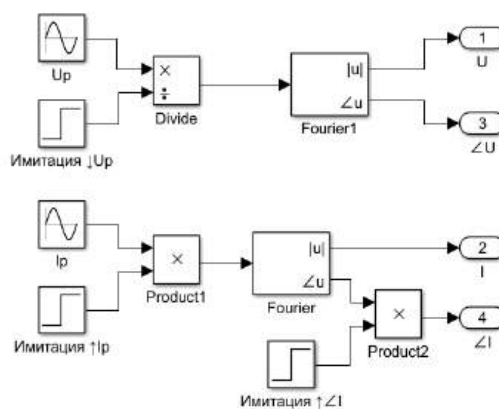


Рисунок 4. Алгоритм задания входных сигналов

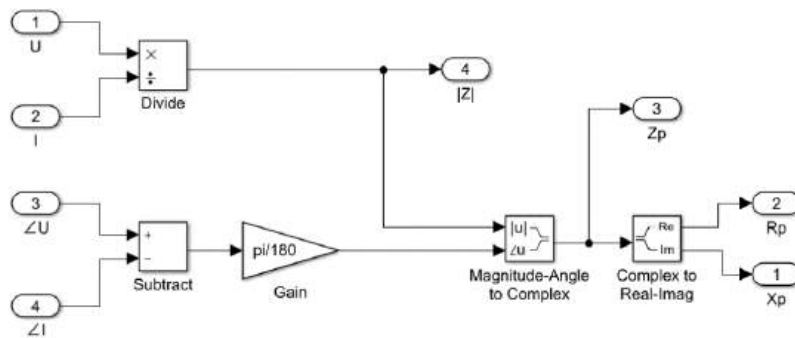


Рисунок 5. Алгоритм получения характеристической величины Z_p

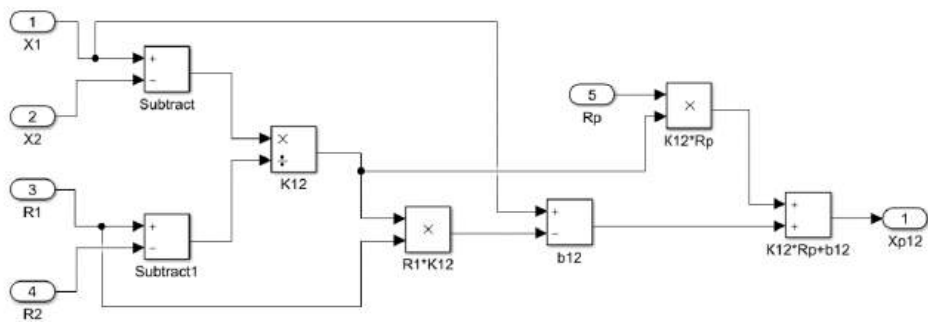


Рисунок 6. Алгоритм вычисления условий срабатывания

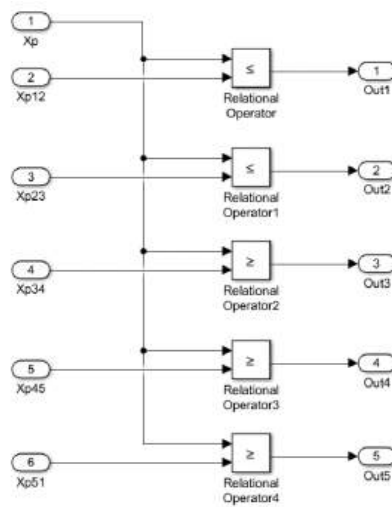


Рисунок 7. Алгоритм проверки попадания в зону срабатывания

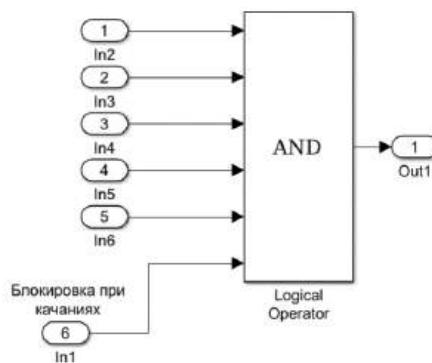


Рисунок 8. Алгоритм формирования сигнала на отключение выключателя

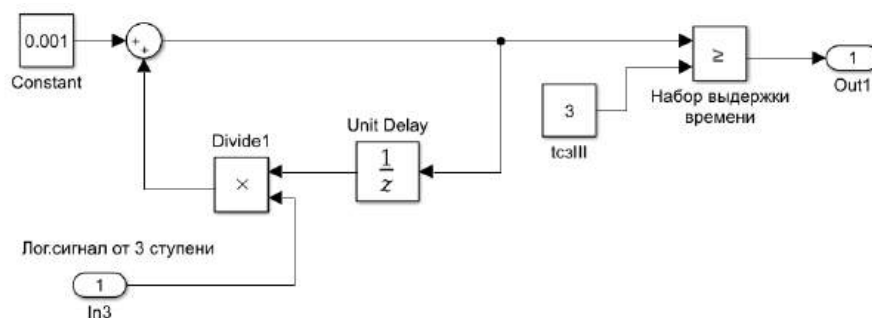


Рисунок 9. Алгоритм формирования выдержки времени (пример для 3й ступени)

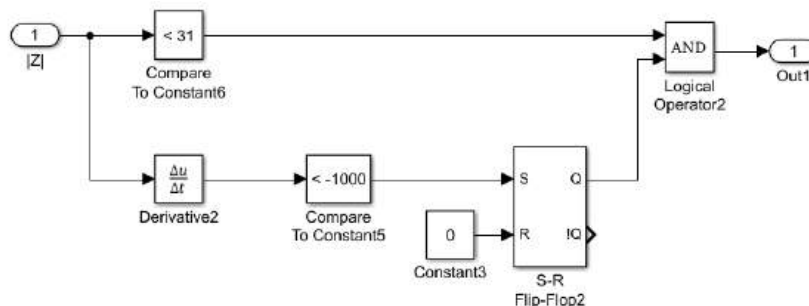


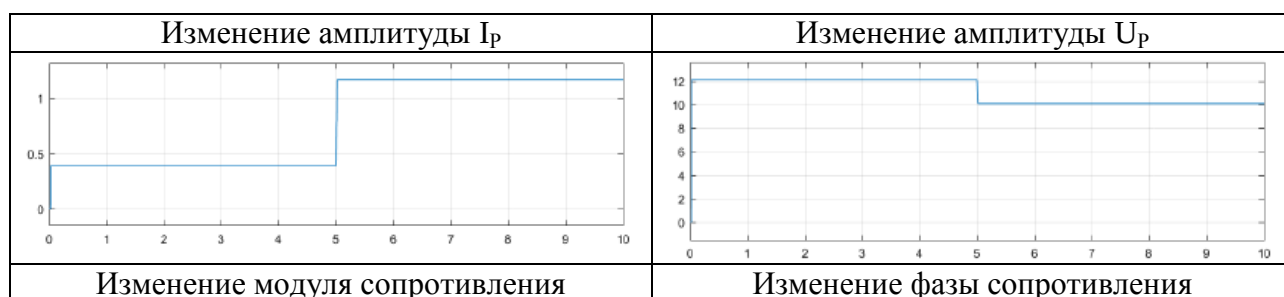
Рисунок 10. Алгоритм блокировки защиты при качаниях (для 1й и 2й ступеней)

Проверка работы алгоритма в различных режимах

Нормальному режиму соответствует $Z_w = 31 \angle 20^\circ \text{ Ом}$, $U_p = 12,12 \angle 0^\circ \text{ В}$, $I_p = 0,39 \angle -20^\circ \text{ А}$

1. Режим КЗ наступает в момент времени $t_{кз} = 5\text{с}$ ($Z_{wk} = 8.63 \angle 50^\circ \text{ Ом}$)

Таблица 2. Осциллограммы тока, напряжения, сопротивления при коротком замыкании



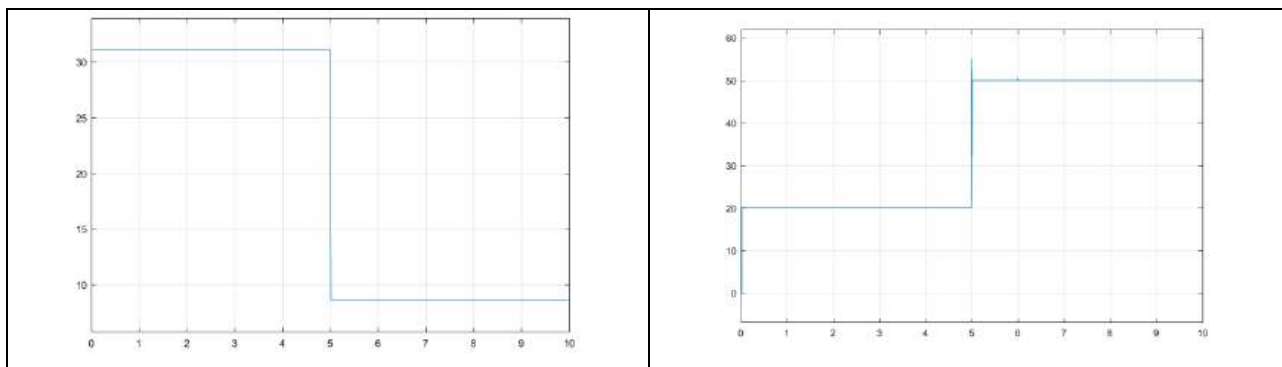


Таблица 3. Работа ступеней дистанционной защиты при коротком замыкании

Работа 1 ступени ($t_{сз}^I=0с$)	Работа 2 ступени ($t_{сз}^{II}=0,5с$)	Работа 3 ступени ($t_{сз}^{III}=3с$)

2. Режим качаний наступает в момент $t=4с$ (действие качания рассмотрено в течение половины периода качаний $t_{кач}=1с$)

Таблица 4. Осциллограммы тока, напряжения, сопротивления при качаниях

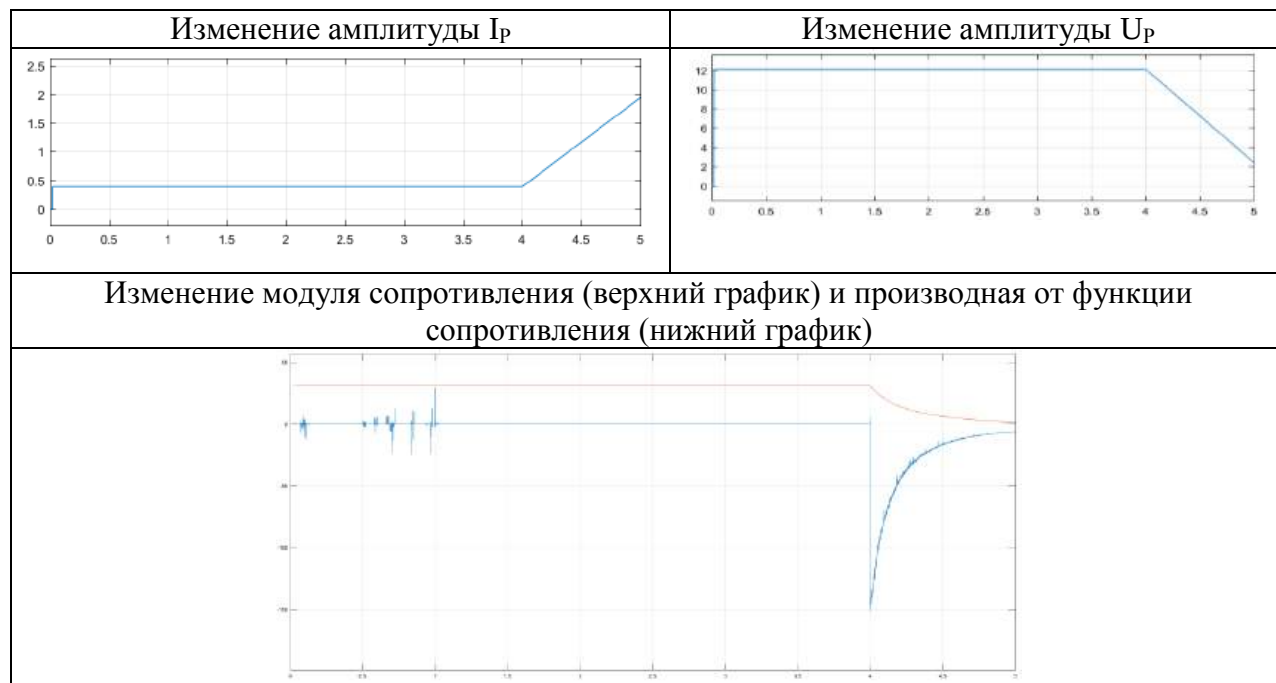
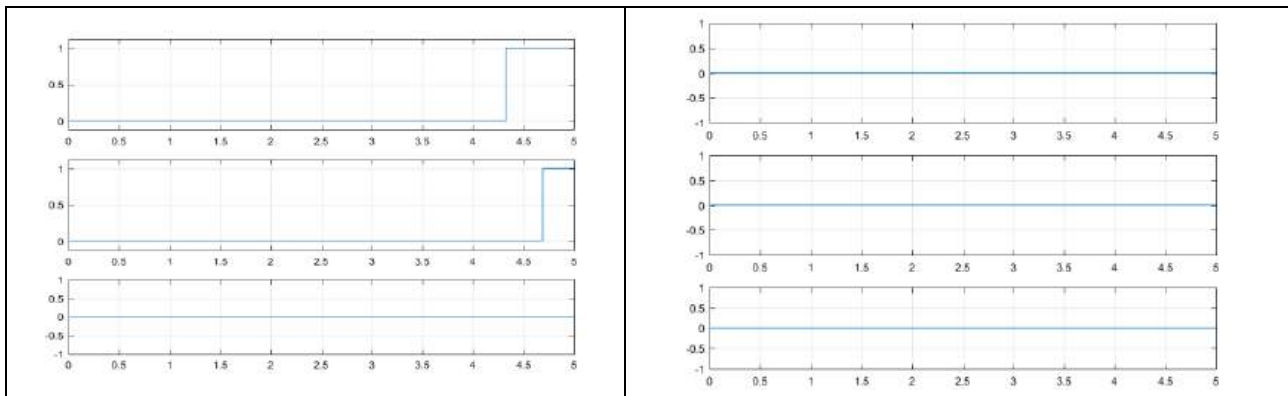


Таблица 5. Работа ступеней дистанционной защиты при качаниях

Работа ступеней защит без БК	Работа ступеней защит с БК
------------------------------	----------------------------



Работа схемы

Данный алгоритм представляет собой работу защиты одной из фаз. Входными сигналами для схемы являются разность токов и междуфазное напряжение вторичных измерительных преобразователей, устанавливаемых на входе в терминал. При коротком замыкании на защищаемой линии возрастает ток и падает напряжение. Анализ работы схемы в режиме КЗ осуществляется при увеличении тока, его фазы и при уменьшении напряжения скачком с помощью блока Step. Блок Fourier позволяет выделить амплитуду и фазу гармонических составляющих сигнала. Выходной сигнал блока Fourier подаётся в блок вычисления характеристической величины Z_p , где происходит вычисление действительной и мнимой части комплексного сопротивления. Действительная часть комплексного сопротивления подаётся на блок вычисления условий срабатывания реле, к которому из блока уставок подведены по шине данных значения уставок, формирующих характеристику срабатывания реле. В данном блоке производится формирование прямой линии, которая является одной из сторон характеристики срабатывания. Всего используется 5 таких блоков (5 прямых) для каждой ступени. Сформированное значение подаётся по шине данных в блок сравнения с мнимой частью комплексного сопротивления X_p . Таким образом работают все 5 блоков формирования характеристики срабатывания. В результате на выходе блока сравнения с X_p мы получаем логические сигналы, которые соответствуют положению текущей точки на комплексной плоскости: логическая 1, если положение точки соответствует условию срабатывания и логический 0, если не соответствует. Полученные сигналы подаются на схему «И», на выходе которой появляется единица, если все условия срабатывания выполнены. Работа второй и третьей ступеней аналогична работе первой ступени, за исключением того, что их срабатывание происходит с выдержкой времени, настраиваемой в блоке выдержки времени.

Также рассмотрен режим качаний, который сопровождается периодическими понижениями напряжения и возрастаниями тока в сети. Блок Ramp моделирует линейно возрастающий ток и линейно убывающее напряжение, т.е. рассматривается половина периода качаний (1 секунда). Разработанная модель блокировки при качаниях реагирует на скорость изменения полного сопротивления защищаемой линии. При качаниях модуль сопротивления

изменяется не скачком, а по гиперболической функции. При снижении сопротивления фиксируется производная и по ее значению определяется какой режим происходит в сети: если значение производной по модулю больше тысячи (стремится к бесконечности), что соответствует режиму КЗ, то на вход Set блока Flip-Flop подается логическая 1 и на выходе Q до конца симуляции будет держаться 1, а если значение производной по модулю меньше тысячи (имеет конечное значение), что соответствует режиму качаний, то на вход Set блока Flip-Flop подается логический 0 и на выходе Q до конца симуляции будет держаться 0. На вход Reset постоянно подается логический 0. Таким образом, в режиме качаний действие защиты блокируется путем подачи логического 0 на блок «И» только 1й и 2й ступеней, так как время срабатывания 3й ступени в большинстве случаев больше, чем период качаний и ложное срабатывание маловероятно. Сигналы с выходов ступеней подаются на схему «ИЛИ», на выходе которой появляется логическая 1, то есть сигнал на отключение выключателя, если появится хотя бы один сигнал на отключение от первой, второй или третьей ступени.

Список литературы:

1. Басс, Э.И. Релейная защита электроэнергетических систем / Э.И. Басс, В.Г. Дорогунцев. - Москва.: МЭИ, 2002.- 296 с
2. ЭКРА.656453.049-02 РЭ. Руководство по эксплуатации. НПП Экра, Чебоксары. — 94 с.
3. Черных, И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink/ И.В.Черных. М.: ДМК Пресс, СПб: Питер, 2008.- 288 с.