Ложникова П.И., магистрант
Нижневартовский государственный университет
Россия, г. Нижневартовск
Самойлов Е.С., магистрант
Нижневартовский государственный университет
Россия, г. Нижневартовск

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИТЫ МТЗ ТРАНСФОРМАТОРА В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ PSCAD

Аннотация: *Данная статья посвящена проектированию электроэнергетической системы для моделирования её в программном комплексе PSCAD, а также для дальнейшего расчёта и наглядного представления срабатывания максимально токовой защиты при коротком замыкании.*

Построение модели системы было осуществлено с помощью различных компонентов библиотеки программы PSCAD. Параметры и оборудование системы подобраны таким образом, чтобы четко видеть и анализировать срабатывание защит.

Создание системы было необходимо для снятия характеристик и в последующем для сравнения данных снятых с измерительного прибора РЕТОМ-51.

Ключевые слова: *PSCAD, максимальная токовая защита, короткое замыкание, моделирование, асинхронный двигатель, токовая отсечка, ТОР-200, РЕТОМ-51.*

Summary: *This article is devoted to the design of an electric power system for modeling it in the PSCAD software complex, as well as for further calculation and visual representation of the operation of the maximum current protection in a short circuit.*

The system model was built using various components of the PSCAD library. The system parameters and equipment are selected in such a way as to clearly see and analyze the actuation of the protections.

The creation of the system was necessary for the removal of characteristics and subsequently for comparing the data taken from the meter RETOM-51.

Keywords: *PSCAD, overcurrent protection, short circuit, simulation, asynchronous motor, current cutoff, TOR-200, RETOM-51.*

Программный комплекс PSCAD (Power Systems Computer Aided Design) представляет собой удобный и многофункциональный графический интерфейс, позволяющий пользователю схематично моделировать сеть из представленных в библиотеке разнообразных элементов электроэнергетической сети, выполнять моделирование, анализировать результаты, строить графики и управлять данными.

Библиотека PSCAD содержит порядка 300 компонентов, которые разделяются на группы: пассивные элементы, источники электроэнергии, выключатели, элементы силовой электроники, трансформаторы, электрические машины, ЛЭП и кабели, различные измерители, элементы релейной защиты, экспорт и импорт данных, логические функции, элементы создания сценариев поведения модели, фильтры и пр.

С помощью библиотеки построение модели осуществляется максимально наглядно. Она оформляется в графическом виде как привычная электрическая схема. Характеристики и свойства каждого элемента модели задаются в виде табличных данных. Готовая модель удобна для анализа и проверки. В PSCAD используются блоки управления, которые имитируют логическую часть МТЗ.

При создании системы можно использовать как стандартные модели блоков, представленные в PSCAD, так и создавать собственные модели,

которые легко могут быть сформированы в программе с помощью простейших элементов.

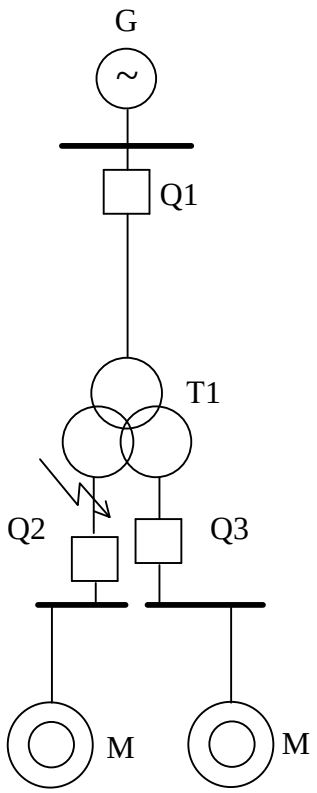


Рисунок 1. Схема проектируемой системы

Моделирование электроэнергетической системы

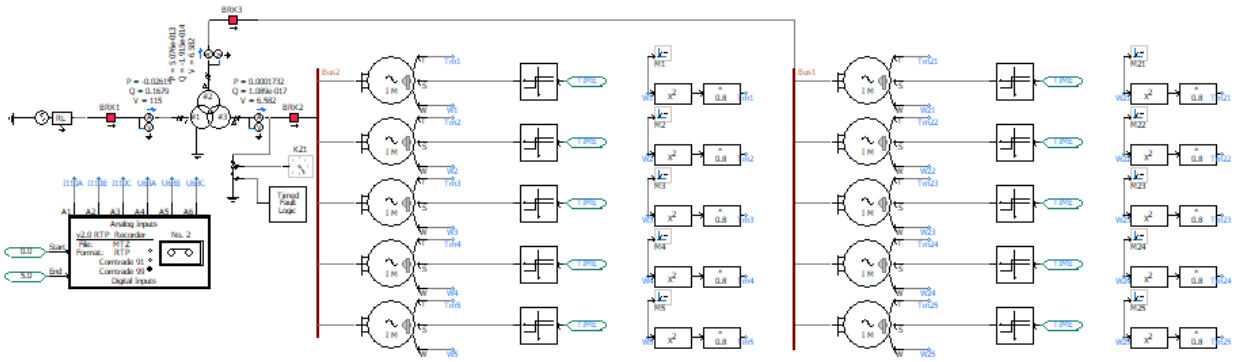


Рисунок 2. Электрическая схема эксперимента

Моделирование электрической сети осуществляется с помощью элементов, которые расположены на панели Workspace проект master (Master Library).

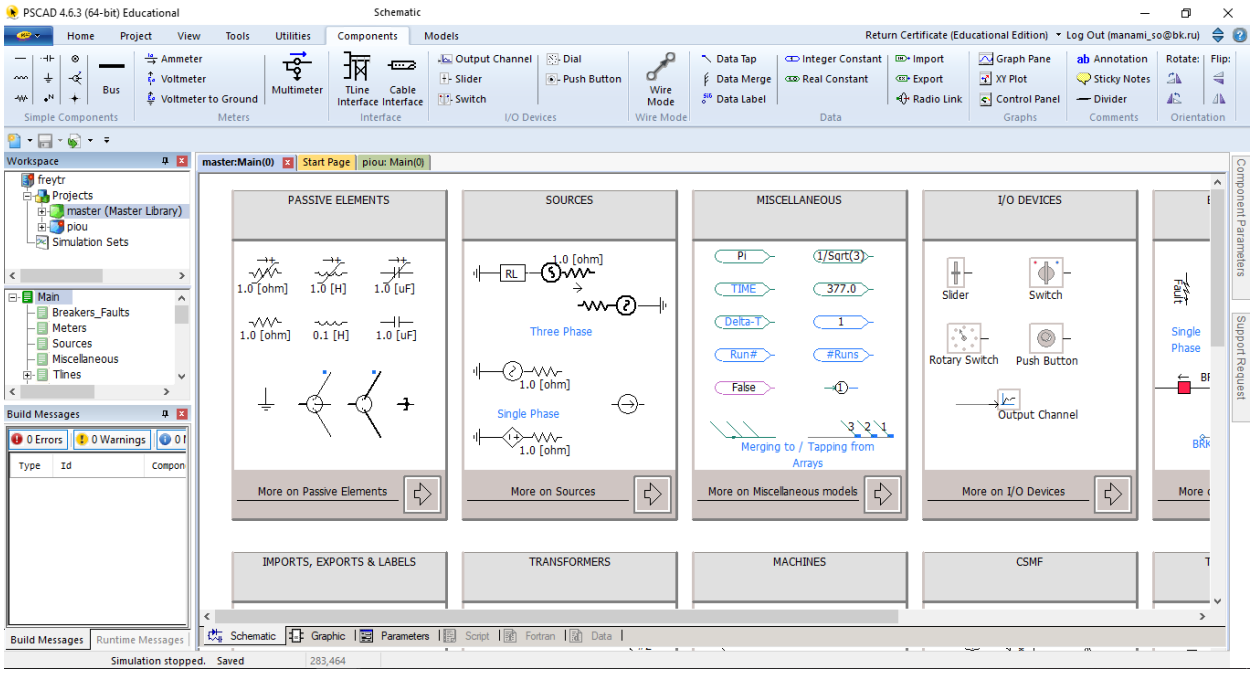


Рисунок 3. Компоненты

1) Для моделирования системы открываем раздел Sources во вкладке Models затем выбираем Three Phase Voltage Source Model 1. Далее задаем параметры данного элемента: Edit Parameters/ Signal parameters

2) Для моделирования шин открываем вкладку Components и выбираем элемент Bus. Задайте параметр Base KV (базисное напряжение).

3) Для моделирования трансформатора/ автотрансформатора открываем раздел Transformers и выбираем элемент 3 Phase 2 Winding Transformer. Так же задаем все необходимые параметры. В ходе проектирования системы электроснабжения было выбрано оборудование, которое необходимо смоделировать в программном комплексе.

Принимаем к установке 2 трансформатора ТРДН-40000/110-У с номинальной мощностью: SH = 40000 кВА, паспортные данные которого указаны в таблице 1.

Таблица 1.

Паспортные данные трансформатора ТРДН-40000/110-У1

Тип	$S_{Н}$, кВА	$U_{ВН}$, кВ	$U_{СН}$, кВ	$U_{НН}$, кВ	ΔP_{XX}, кВт	$\Delta P_{КЗ}$, кВт	$U_{К}$, % (В-Н)	$U_{К}$, % (В-С)	$U_{К}$, % (С-Н)	I_{XX}, %
ТРДН-40000/110-У1	40000	115	-	6,6 -6,	22	170	10.5	-	-	0.28

4) Для моделирования асинхронной машины открываем вкладку Machines, затем выберите Wound Rotor Machine

Задаем параметры асинхронной машины. Edit Parameters/General Data: Motor Name, Rated Power, Rated Voltage, Base Angular Frequency

Асинхронная машина имеет три входных величины: W (механическая скорость), S (переключатель), TL (механический момент). Существует два режима контроля машины: управление скоростью и управления моментом. Выбор одного из них осуществляется с помощью входа S (S=0 – управление моментом, S=1 – управление скоростью). В режиме контроля момента скорость машины рассчитывается по заданной функции. На вход W и TL необходимо эталонное значение, которое будет поддерживаться. Для этого используется Real Integer (вкладка Components).

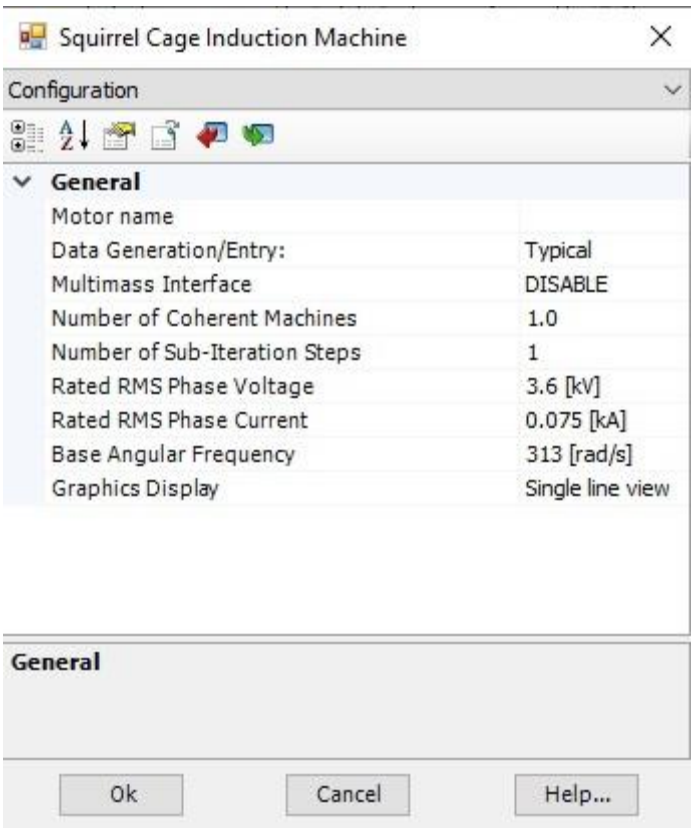


Рисунок 4. Параметры асинхронной машины

5) Для моделирования выключателей открываем раздел Breakers&Faults, затем выбираем 3 Phase Breaker. Необходимо задать параметры выключателя Edit Parameters/Breaker Main Data: Breaker Name (имя выключателя). Задаем положение выключателя с помощью компонента Integer Constant+Data Label (лейбл должен совпадать с именем выключателя)

6) Для удобной фиксации перетоков мощности и контроля нескольких параметров одновременно выбираем Multimeter (вкладка Components)

Задаем параметры элемента Multimeter Edit Parameters/Configuration : Measure Active Power Flow? – Yes (измерять перетоки активной мощности?)

Measure Reactive Power Flow? – Yes (измерять перетоки реактивной мощности?)

Measure RMS Voltage? – Yes, Analog (измерять среднеквадратичное напряжение?)

Animated Display? – Yes (показывать изменение P, Q, U во время моделирования?)

7) Для моделирования внутренних и внешних коротких замыканий различных видов используется элемент Three Phase Fault (вкладка Models раздел Breakers_Faults.

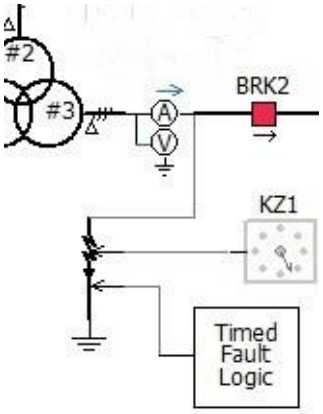
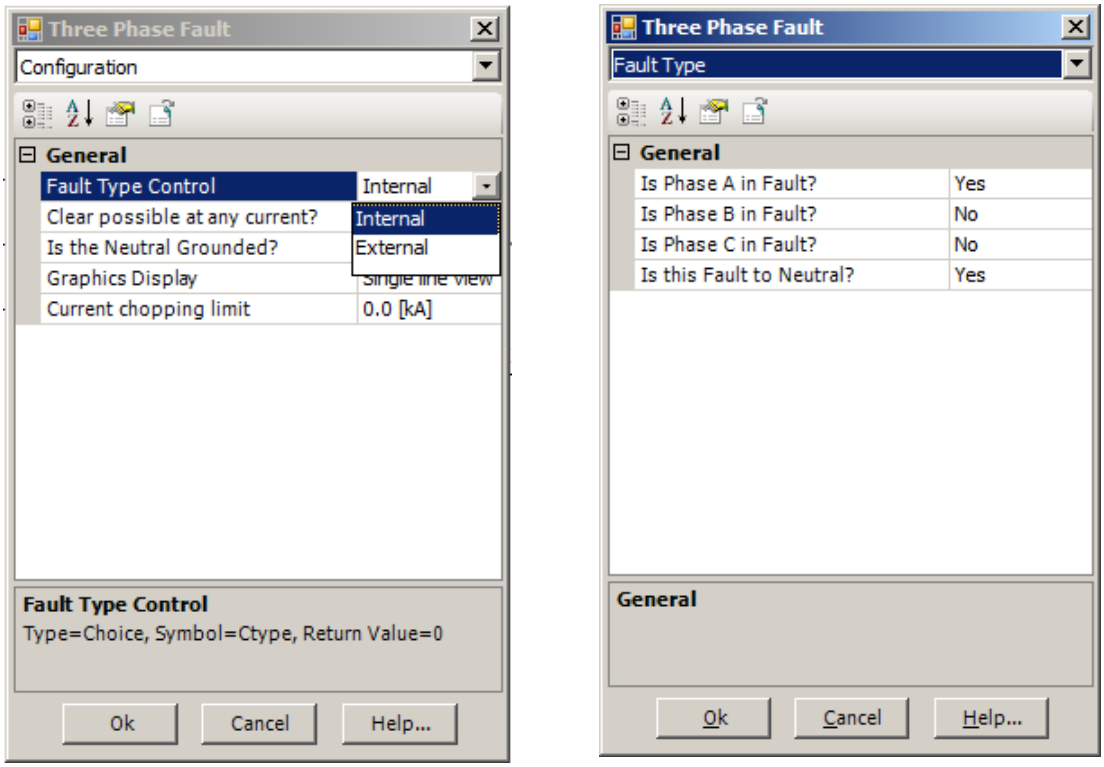


Рисунок 5. Моделирование короткого замыкания

Вид короткого замыкания можно изменять двумя способами: внутри самого элемента Three Phase Fault и с помощью внешнего элемента Dial.

Для первого случая выберите в графе Fault Type Control – Internal (Edit Parameters/Configuration). Вид короткого замыкания выберите в разделе Edit Parameters/Fault Type с помощью граф: Is Phase A In Fault? – Yes or No; Is Phase B In Fault? – Yes or No и т.д.



а) б)

Рисунок 6. Ввод параметров короткого замыкания

Для второго случая выберите в графе Fault Type Control – External. Далее добавьте элемент Dial (вкладка Components).

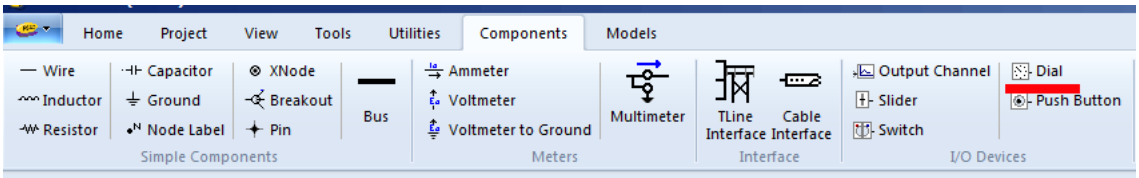


Рисунок 7. Добавление элемента Dial

Соедините элемент Dial с элементом Three Phase Fault с помощью Wire через верхний интерфейс. Далее добавьте элемент Control Panel (вкладка Components) и добавьте на нее Dial.

Для этого щелкните правой клавишей мыши по элементу Dial, в ниспадающем меню выберите Graphs/Meters/Controls – Add as control. Далее правой клавишей мыши щелкните по элементу Control Panel и нажмите Paste. При выборе одного из положений переключателя Dial установится соответствующий вид короткого замыкания. Для установления соответствия

между сигналами на входе элемента Three Phase Fault и видом КЗ, нажмите правой клавишей мыши по данному элементу и в ниспадающем меню выберите Help и скопируйте список видов короткого замыкания.

Вставьте данный список на рабочую область при помощи элемента Sticky Note (вкладка Components/Sticky Note)

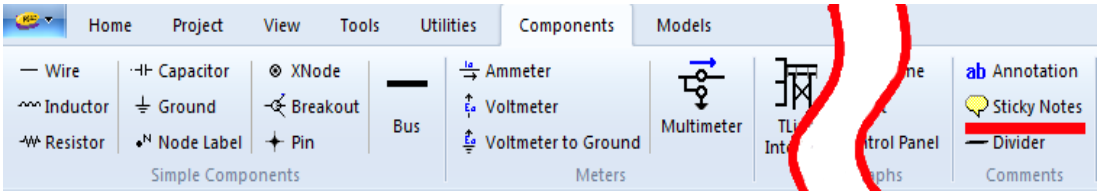


Рисунок 8. Добавление элемента Sticky Note

Далее двойной щелчок по элементу Sticky Note и вставьте текст из раздела Help).

Убрать лишние позиции из списка и переназначьте сигналы элемента Dial. Для этого откройте параметры элемента Dial (Edit Parameters/Configuration), выберите количество положений (строка # of Dial Positions (3-10)), и задайте значения положений (строки Position # 1 data и т.д.). Так же скорректируйте список Sticky Note.

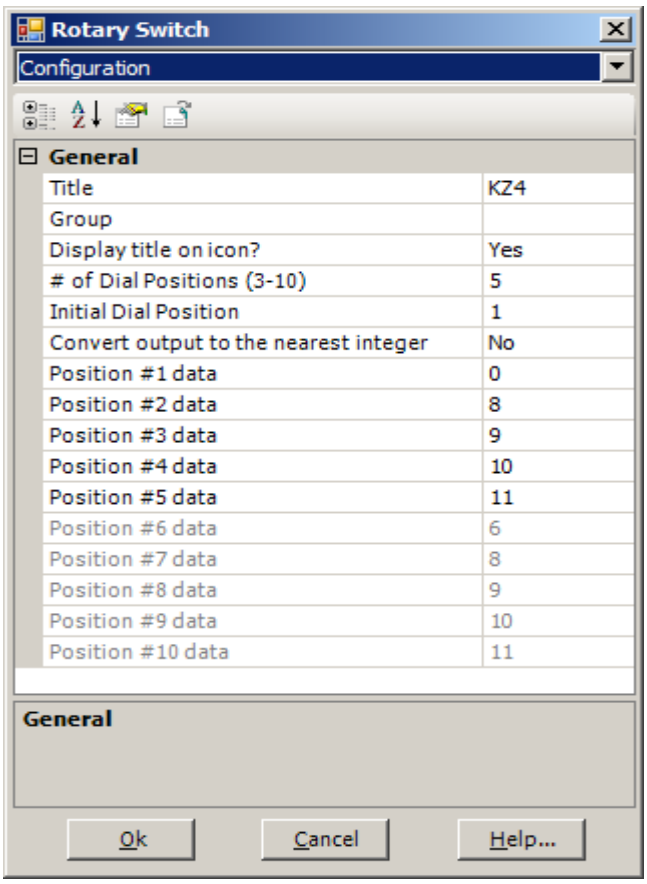


Рисунок 9. Назначение сигналов элемента Dial

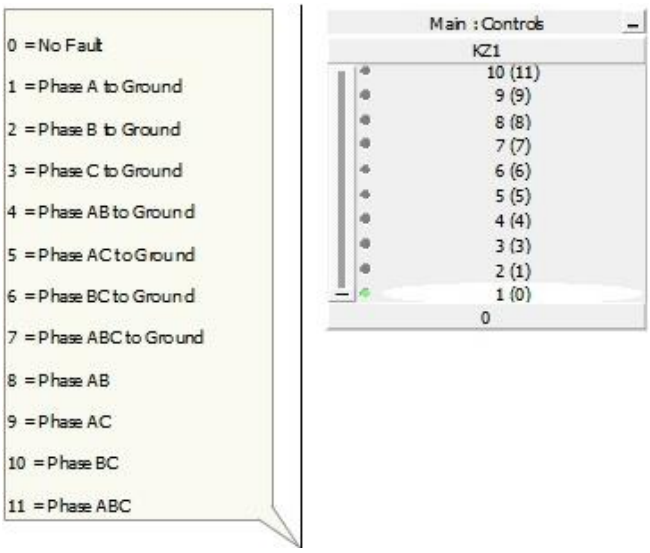


Рисунок 10. Значение положений

8) Для моделирования времени повреждения выберите элемент Timed Fault Logic (вкладка Models раздел Breakers_Faults). Соедините данный элемент с помощью Wire через нижний интерфейс с Three Phase Fault.

Задайте время возникновения КЗ в графе Time to Apply Fault и продолжительность КЗ в Duration of Fault.

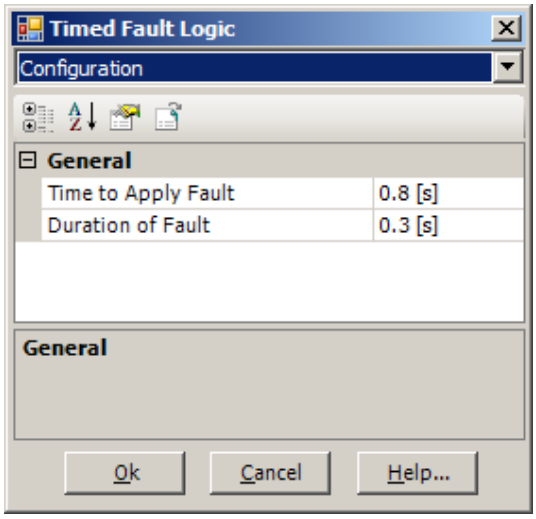


Рисунок 11. Выбор времени возникновения и длительности КЗ

9) Снятие Comtrade-файлов, содержащие осциллограммы аналоговых и дискретных величин, записываются с помощью элемента COMTRADE/RTP Recorder, расположенного в блоке EXTERNAL DATA RECORDERS AND READERS.

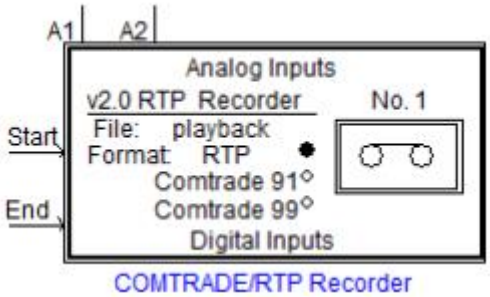
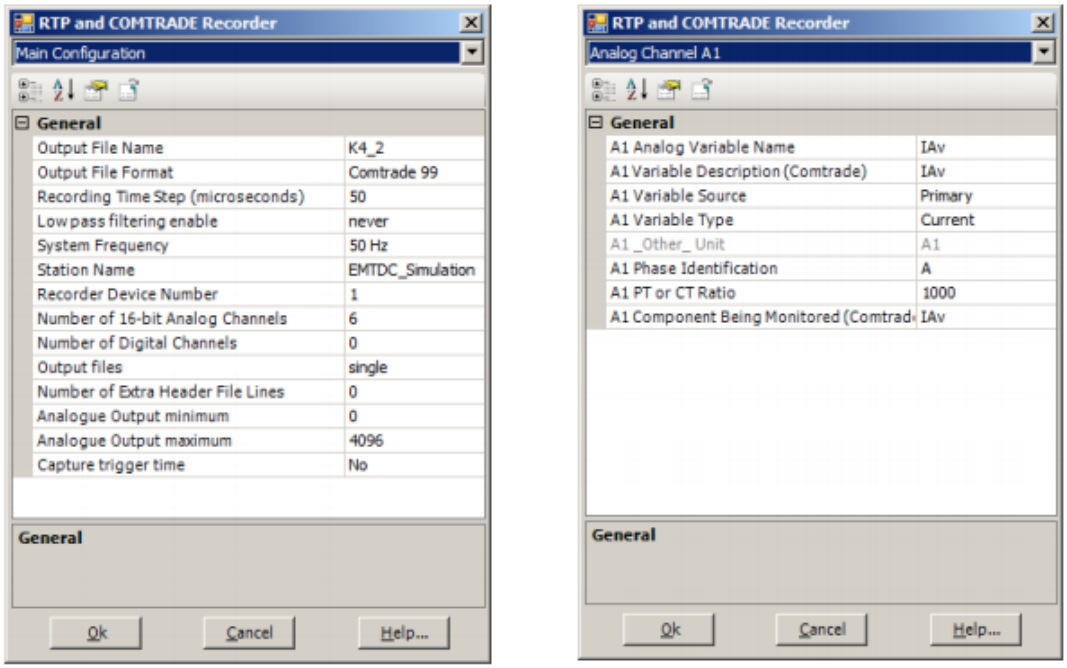


Рисунок 12. Элемент COMTRADE/RTP Recorder

Для успешного выполнения работы первоначально необходимо выставить параметры COMTRADE/RTP Recorder. Окно параметров Main Configuration рисунок 12. Output File Name – задается выходное имя файла (имя соответствует заданному режиму); Output File Format – задается тип Comtrade 99 Number of 16-bit Analog Channels – задается 6 сигналов для снятия токов всех фаз на обеих сторонах трансформатора.

Затем в окне параметров Analog Channel (рис. 12 б) A1-A6 задаем имя и тип записываемого сигнала. Имя задается в строке A1-6 Analog Variable Name, а тип в строке A1-6 Variable Type, где необходимо выбрать Current. Имя необходимо указать уникальным: в имени должны содержаться тип, фаза и сторона трансформатора.

В строке PN or CT Ratio выставьте коэффициент трансформации для проигрывания Comrade-файла на РЕТОМ. Обратите внимание, что токи и напряжения записываются с коэффициентом 1000, далее коэффициент подбирается исходя из режима сети и возможностей РЕТОМ.



а) б)

Рисунок 13. Ввод параметров элемента COMTRADE/RTP Recorder

После настройки рекордера необходимо присоединить сигналы, соответствующие вторичным токам указанных ТТ, в соответствии с заданными именами, как это показано на рисунке 13

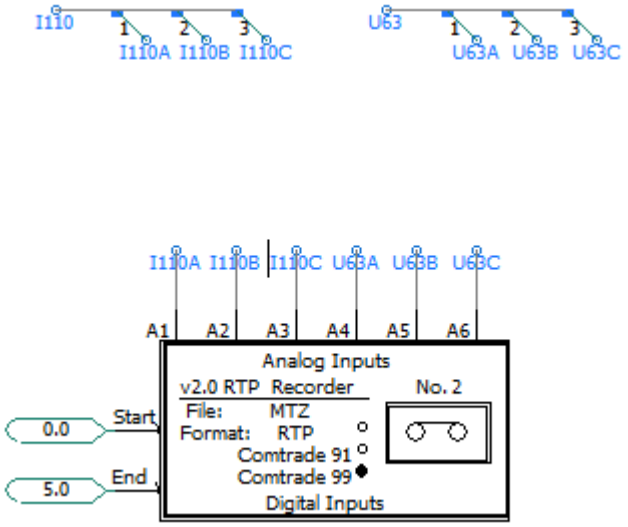


Рисунок 14. Добавление входных сигналов элемента COMTRADE/RTP Recorder

Ко входу Start присоединяется время начала записи, заданное в виде действительной константы Real Constant, а ко входу End – окончания.

Затем запускается симуляция, в результате которой записываются Comtrade-файлы, в папку с текущим проектом.

Далее comtrade-файлы загружаются в терминал РЕТОМ-61 и снимаются характеристики при аварийном режиме.

Снятие характеристик аварийного режима

Действие защит при двухфазном коротком замыкании на шинах низшего напряжения трансформатора в программе PSCAD.

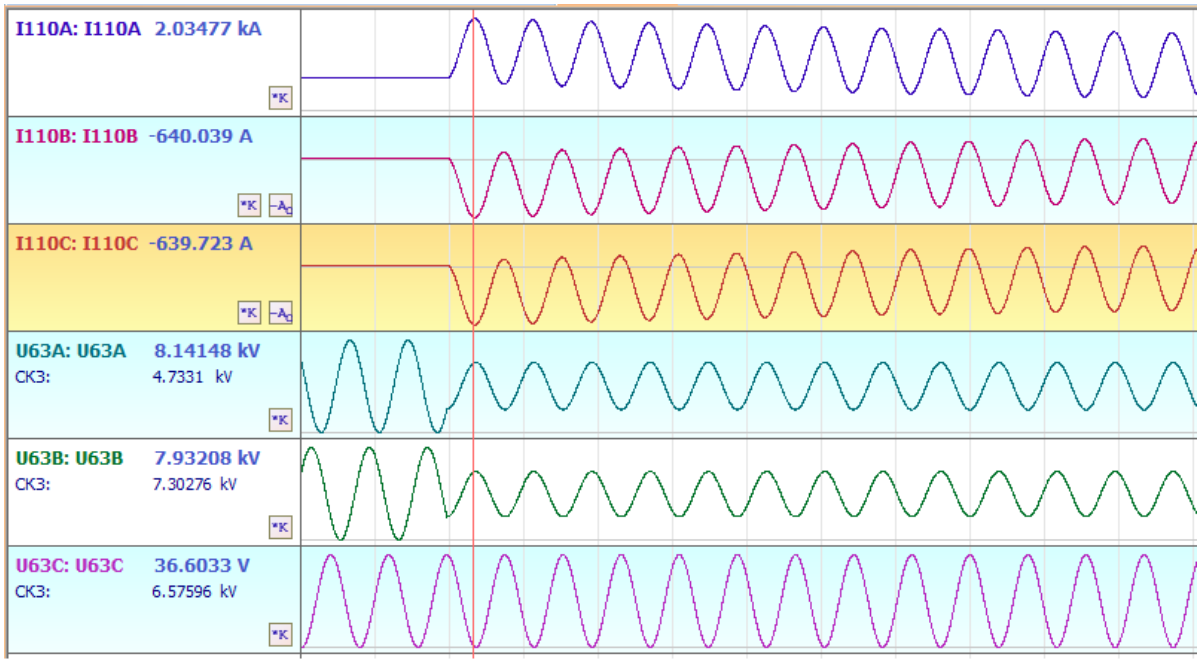


Рисунок 15. Графики токов и напряжений

Действие защит при двухфазном коротком замыкании на шинах низшего напряжения трансформатора в терминале РЕТОМ-61.

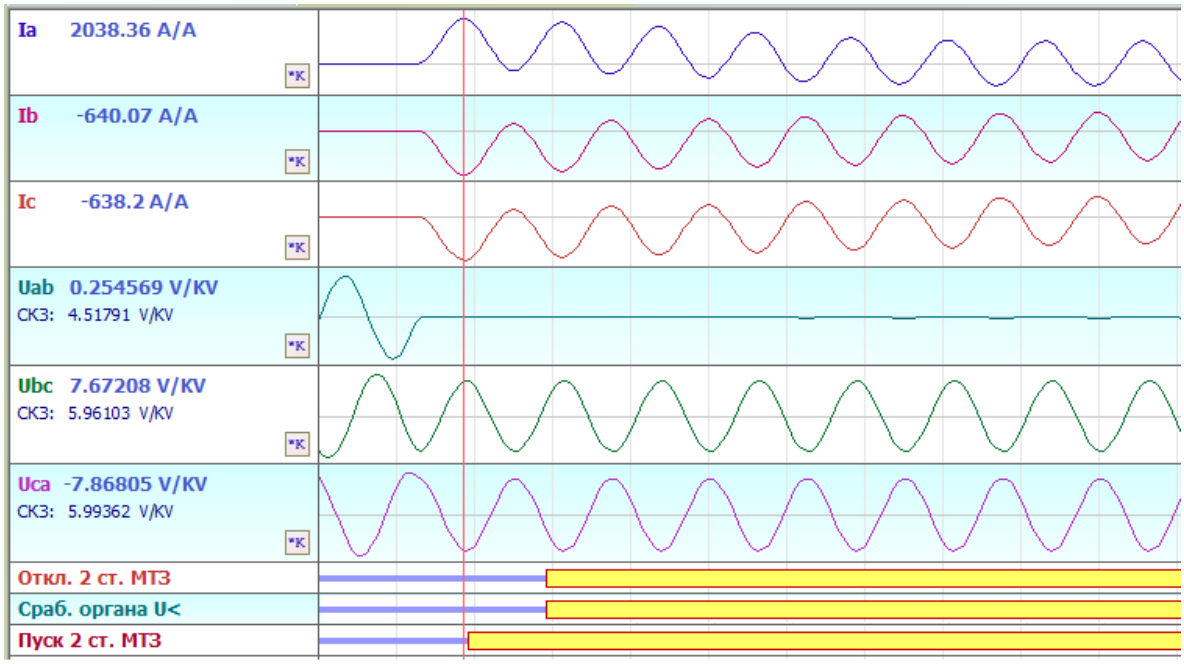


Рисунок 16. Графики токов и напряжений

Действие защит при пуске асинхронного двигателя в программе PSCAD.

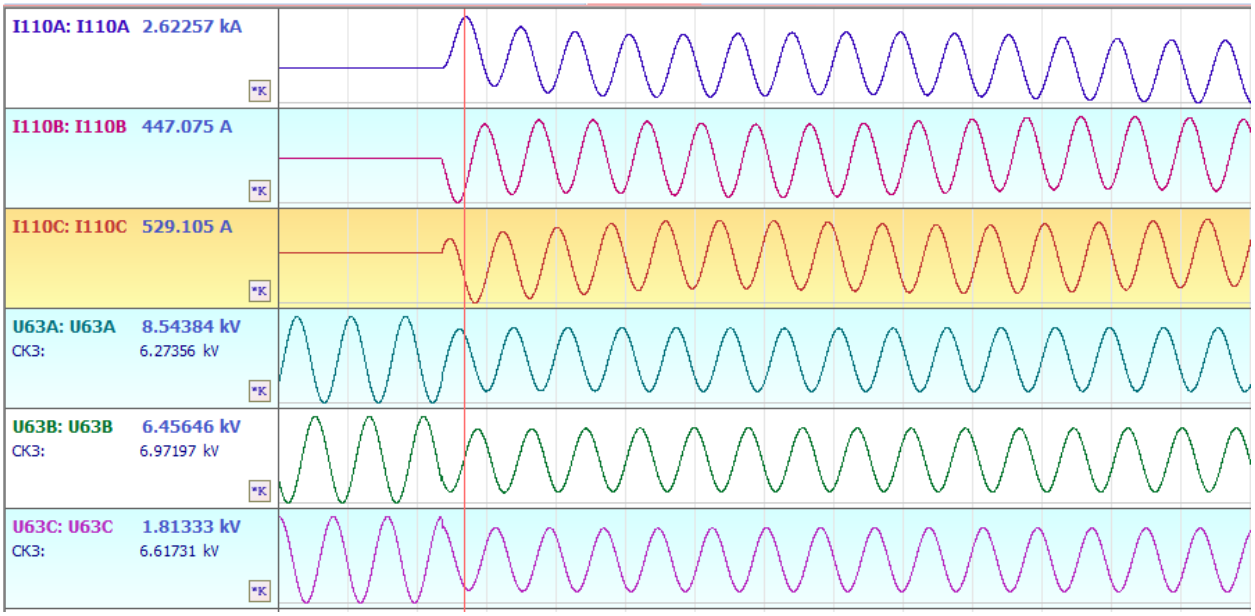


Рисунок 17. Графики токов и напряжений

Действие защит при пуске асинхронного двигателя терминале РЕТОМ-61.

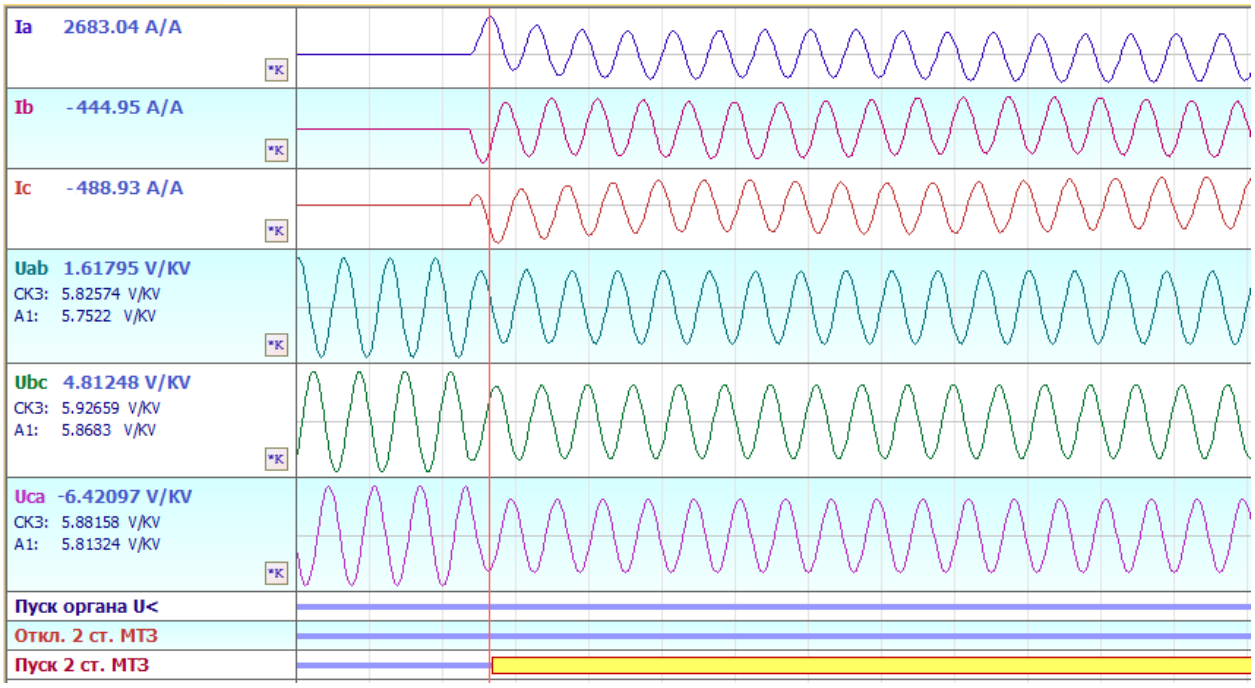


Рисунок 18. Графики токов и напряжений

Схема позволяет анализировать реакцию терминала на аварийную ситуацию. Осциллограммы срабатывания терминала РЕТОМ-61 подтверждают адекватность срабатывания спроектированной модели энергосистемы.

Использование программы позволяет повысить точность уставок защиты и сократить время расчета.

Использованные источники:

1. Материалы по PSCAD на русском языке, ЗАО «ЭнЛАБ» [Электронный ресурс]. URL: http://ennlab.ru/rus/product/44 (дата общения: 07.09.2021).
2. Радкевич В.Н. Проектирование систем электроснабжения: учебное пособие / В.Н. Радкевич, О.Н. Прокопеня, Л.С. Щербак. – Мн.: НПООО ПИОН, 2001. – 292 с.
3. Герасимова В.Г. Электротехнический справочник / В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинского, Л.А. Жукова. – М.: Энергия, 1980. – 520 с.
4. Правила устройства электроустановок / 7-е изд,. – М.: Моркнига, 2009. – 648 с.
5. Щекочихин А.В. Проектирование электрических сетей: учебное пособие / А.В. Щекочихин, В.В. Барсков – Омск.: Изд-во ОмГТУ, 2004. – 68 с.