

ПРОГРАММНЫЙ ОРГАН СОПРОТИВЛЕНИЯ В СРЕДЕ PSCAD/EMTDC

Андреева А. В.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Ю. А. Ершов
Сибирский федеральный университет

Для расчета переходных процессов в электроэнергетической системе и решения задач моделирования релейной защиты, в настоящее время применяется программный комплекс PSCAD/EMTDC.

PSCAD представляет собой удобный и многофункциональный графический интерфейс, позволяющий пользователю схематично строить сеть из представленных в библиотеке разнообразных моделей элементов электроэнергетической сети (ЭС), выполнять моделирование, анализировать результаты, управлять данными.

EMTDC (сокращенно Electromagnetic Transients including DC) осуществляет все основные расчеты по составлению и расчету дифференциальных уравнений и управлению системой. Ядро EMTDC состоит из трех основных частей: из динамической части, которая включает в себя основную подпрограмму динамических расчетов (DSDYN), подпрограмму вывода (DSOUT), и модуля расчета ЭС. Расчет осуществляется последовательно, через определенный интервал времени, который может составлять 50 мксек.

Расчет параметров энергосистем осуществляется на основе моделей. В программе предусмотрены предварительно запрограммированные и прошедшие тестирование модели от простых пассивных элементов до элементов управления, электрических машин, линий электропередач и кабелей.

Целью представленной статьи является разработка в программном обеспечении PSCAD виртуальной модели органа сопротивления, для ступеней дистанционной защиты линии. Исследование и создание программных органов позволяет изменять параметры и конфигурацию вторичной цепи, изменять уставки, проводить испытания.

Разработанная модель органа сопротивления состоит из нескольких блоков, которые были выбраны из библиотеки программы PSCAD/EMTDC. Алгоритмы программного модуля представляют собой уравнения, которые на комплексной плоскости представляют собой многоугольник, что является полигональной характеристикой. Решения этих уравнений, позволяют определить зону действия защиты.

Функциональная схема цифрового органа сопротивления представлена на рис. 1.

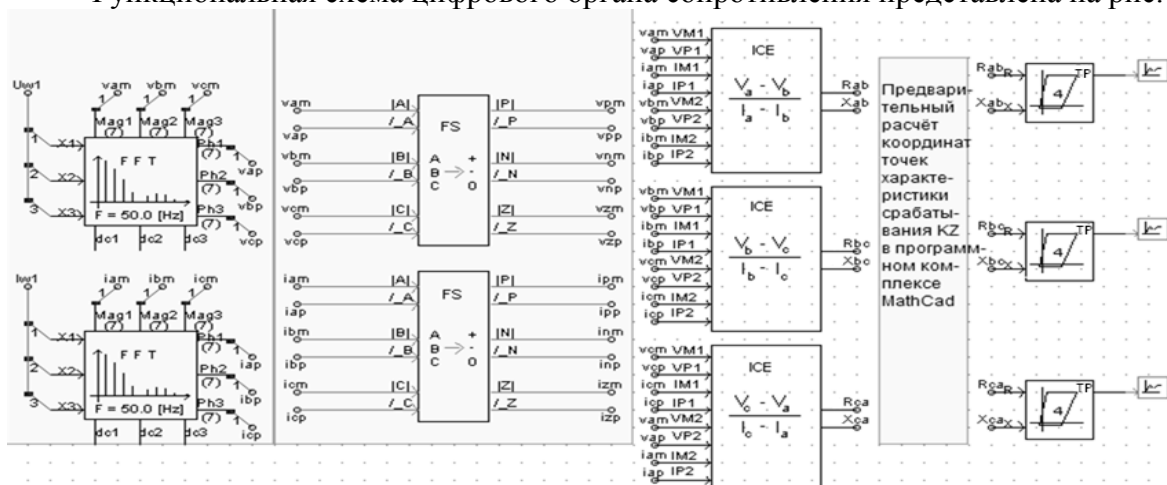


Рис. 1. Функциональная схема органа сопротивления
Модель состоит из следующих элементов:

- блок выделения амплитудного значения и фазы входных величин (FFT);
- блок формирования последовательностей (FS);
- расчётный блок (ICE);
- блок формирования условий срабатывания (TP).

На вход частотных сканеров (FFT) поступают мгновенные значения токов и напряжений линии, в которых происходит выделение амплитудного значения, фазы и постоянной составляющей входных величин.

Блок формирования последовательностей (FS) осуществляет линейное преобразование входных значений амплитуд и фаз токов и напряжений в величины, пропорциональные симметричным составляющим трехфазной системы I_1, I_2, I_0 и U_1, U_2, U_0 в виде модуля и фазного угла.

В расчётном блоке (ICE) происходит определение вида короткого замыкания, путём расчёта сопротивлений при коротких замыканиях на землю («линия-земля») и при междуфазных замыканиях («линия-линия»).

Расчёт сопротивления «линия-земля» осуществляется по следующему принципу:

$$Z_{LG} = \frac{U_{phase}}{I_{phase} + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} \cdot I_0} \quad (1)$$

где U_{phase} - фазное напряжение,

I_{phase} - фазный ток;

$$I_0 = \frac{1}{3} \cdot (I_A + I_B + I_C) \quad (2)$$

где Z_0 - полное сопротивление нулевой последовательности от места установки реле до конца охраняемой зоны,

Z_1 - полное сопротивление прямой последовательности от места установки реле до конца охраняемой зоны.

Расчёт сопротивления «линия-линия» производится по следующим формулам:

$$Z_{LL} = \frac{U_{phase1} - U_{phase2}}{I_{phase1} - I_{phase2}} \quad (3)$$

где U_{phase} - фазное напряжение прямой и обратной последовательностей,

I_{phase} - фазный ток прямой и обратной последовательностей.

Выходное сопротивление выдаётся в прямоугольной системе координат (R и X) и оптимизируется для использования в многоугольной характеристике.

Формирование условий срабатывания заключается в задании координат точек характеристики срабатывания - уставки органа сопротивления (рис. 2, а, б). Для определения уставок была задействована программа Mathcad.

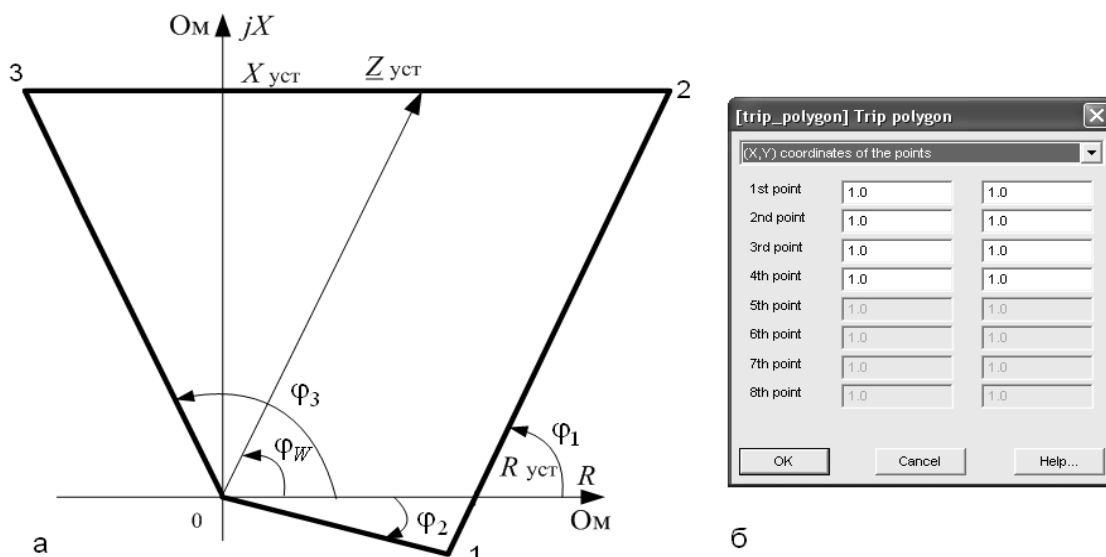


Рис. 2. Характеристика срабатывания органа сопротивления (а) и меню задания точек координат (б)

Mathcad — система компьютерной алгебры из класса систем автоматизированного проектирования, ориентированная на подготовку интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением, отличается легкостью использования и применения для коллективной работы. Имеет простой и интуитивный для использования интерфейс пользователя. Для ввода формул и данных можно использовать как клавиатуру, так и специальные панели инструментов. Систему достаточно удобно использовать для обучения, вычислений и инженерных расчетов. Программа позволяет выполнять численные и символьные вычисления, производить операции со скалярными величинами, векторами и матрицами, автоматически переводить одни единицы измерения в другие.

Расчёт координат точек производится в соответствии со следующим алгоритмом:

Задание исходных данных.

Первичное и вторичное сопротивление срабатывания защиты:

$$z_{сз} = Z_1 \cdot e^{j\varphi_1} = A$$

$$z_{ср} = Z_1 \cdot \frac{k_I}{k_U} = A_1$$

Сопротивления уставок:

$$x_{уст} = A_1 \cdot \sin \varphi_1 = A_2$$

$$R_{уст} = \frac{0,5 \cdot A_1}{\sin \varphi_1}$$

$$\varphi_1 = A_3$$

$$\varphi_2 = A_4$$

$$\varphi_3 = A_5$$

Таблица 1 Расчёт координат точек.

Точка 0	Точка 1	Точка 2	Точка 3
$x_0 = 0$	$x_1 = \frac{\tan \varphi_1 \cdot R_{уст}}{\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2}$	$x_2 = \frac{x_{уст}}{\tan \varphi_1} + R_{уст}$	$x_3 = \frac{x_{уст}}{\tan \varphi_3}$
$y_0 = 0$	$y_1 = \frac{\tan \varphi_1 \cdot \tan \varphi_2 \cdot R_{уст}}{\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2}$	$y_2 = x_{уст}$	$y_3 = x_{уст}$

Так как для определения зоны действия органа сопротивления необходимо задать координаты точек характеристики срабатывания, то данная модель может использоваться для различных ступеней дистанционной защиты.

Для испытания модели органа сопротивления была создана специальная модель трёхфазной электрической сети, параметры которой также можно изменять в ходе испытания модели (рис. 3). Модель сети включает в себя: систему, трансформаторы, выключатели, линию и нагрузки. Необходимые значения напряжения и тока поступают во вторичную цепь от амперметра-вольтметра. Изменение режимов работы электрической сети 110 кВ производилось путем перемещения места короткого замыкания. Момент возникновения и вид аварии определяет пользователь.

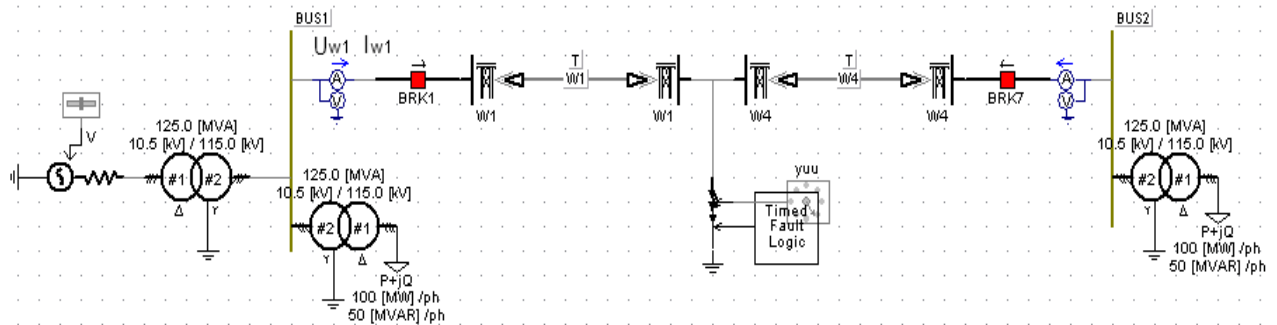


Рис. 3. Принципиальная схема электрической сети.

Исследование модели:

- 1) Запустить модель электрической сети;
- 2) Получение необходимых параметров тока и напряжения, для расчёта уставок;
- 3) Рассчитать уставки дистанционной защиты линии, используя методические указания;
- 4) Выставить уставки в настройках блока, решая уравнения;
- 5) Повторно запустить модель электрической сети и органа сопротивления;
- 6) Исследовать поведение органа сопротивления при различных видах повреждений.

Исследования показали, что при верном расчёте уставок при аварийных режимах происходит срабатывание испытываемой модели.

Таким образом, виртуальная модель органа сопротивления позволяет детально проанализировать процессы, протекающие в цепях релейной защиты, что имеет огромное значение не только для научного, но и для образовательного процесса.