

**ВСЕРЕЖИМНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЕРВОЙ СТУПЕНИ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ**

Гордиенко И.С., Прутик А.Ф.

Научный руководитель – ассистент Прутик А.Ф.

Томский политехнический университет, г. Томск

Целью работы является всережимный анализ функционирования средств релейной защиты и автоматики (РЗА) с точки зрения выявления причин неправильных действий, а также выработка требований для модернизации существующих, разработки и создания новых средств РЗА. Существующие подходы моделирования средств РЗА не позволяют на необходимом уровне решить указанный комплекс задач. Для успешного решения данных задач необходимо выполнение двух условий:

1. Наличие средств адекватного всережимного моделирования в реальном времени электроэнергетических систем (ЭЭС).

2. Возможности всережимного моделирования параллельного функционирования средств РЗА с учетом особенностей различных аппаратных реализаций (электро-механические, микроэлектронные, микропроцессорные РЗА).

Первое условие выполнено в результате создания в ТПУ всережимного моделирующего комплекса реального времени ЭЭС (ВМК РВ ЭЭС). Основу его составляет совокупность адаптируемых специализированных гибридных процессоров (СГП), адекватно-моделирующих соответствующие элементы ЭЭС и позволяющих эффективно реализовать второе из указанных условий.

Для полноценного выполнения второго условия необходимо синтезировать максимально достоверное математическое описание функционирования моделируемых средств РЗА, учитывающих характеристики измерительных трансформаторов, особенности аппаратных реализаций, в частности, согласующих устройств для микроэлектронных и микропроцессорных РЗА и др., а также особенности реализации собственных алгоритмов функционирования РЗА.

Методология выполнения поставленных задач выглядит следующим образом:

1. Синтез математического описания функционирования РЗА, которое отражает структуру конкретного вида РЗА и особенности аппаратной реализации (например, математическое описание элементов в виде передаточных функций).

2. Составление алгоритма для каждого функционального элемента полученной структуры.

3. Проверка адекватности представленного алгоритма с помощью математического пакета (например, MathCAD).

4. Разработка программы для микроконтроллера в зависимости от особенностей (требований по быстродействию, точности) на языке Си или ассемблер, или их комбинации. Программирование микроконтроллеров СГП.

5. Проверка и исследование моделей на ВМК РВ ЭЭС по всему диапазону нормальных и аварийных режимов.

В данной работе из перечня перечисленных задач реализованы пункты 1 – 3 для первой ступени дистанционной защиты микроэлектронного блока ШДЭ 2801. Реле сопротивления в этом блоке представлено характеристикой в виде окружности. Основой для функционирования данного органа является система уравнений приведенная ниже

$$\begin{cases} \underline{E}_1 = k_{11} \cdot \underline{I} \cdot (\underline{Z} - \underline{Z}_1), \underline{Z}_1 = -\frac{k_{12}}{k_{11}}; \\ \underline{E}_2 = k_{11} \cdot \underline{I} \cdot (\underline{Z} - \underline{Z}_2), \underline{Z}_2 = -\frac{k_{22}}{k_{11}}; \\ \underline{E}_3 = k_{11} \cdot \underline{U}_\phi + k_{11} \cdot \underline{I} \cdot (\underline{Z} - \underline{Z}_3), \underline{Z}_3 = 0. \end{cases} \quad (1)$$

где k_{11} - коэффициент передачи по цепям напряжения; k_{12}, k_{22} - комплексные коэффициенты передачи по цепям тока для формирования особых точек Z_1, Z_2, Z_3 соответственно; Z – сопротивление защищаемого объекта, Ом.

Характеристика срабатывания (ХС), сформированная на основе данной системы уравнений, в комплексной плоскости представляет из себя равносторонний (или иной, в зависимости от комплексных коэффициентов) треугольник, вписанный в окружность, проходящую через начало координат. Данная ХС представлена в программной среде MathCAD (см. рис. 2,3).

Таким образом, согласно системе (1), любая точка Z на комплексной плоскости формирует три вектора $\underline{ZZ}_1, \underline{ZZ}_2, \underline{ZZ}_3$, соотношение углов между которыми пропорционально соотношению углов функций $\underline{E}_1, \underline{E}_2$ и \underline{E}_3 , сформированных от датчиков напряжения и тока. Поэтому в дальнейшем будем оперировать как понятиями векторов $\underline{ZZ}_1, \underline{ZZ}_2, \underline{ZZ}_3$, так и $\underline{E}_1, \underline{E}_2, \underline{E}_3$.

Согласно ХС, при расположении точки Z на границе срабатывания, угол между крайними векторами будет равен 120 градусам, поскольку особые точки Z_1, Z_2, Z_3 выбираются на комплексной плоскости таким образом, чтобы они являлись вершинами равностороннего треугольника. В результате получаем ХС, для которой при внешнем КЗ точка Z вне зоны действия защиты и угол между крайними векторами меньше 120 градусов (рис. 2), при внутреннем КЗ точка Z попадает в зону действия защиты, угол больше 120 градусов (рис. 3).

Учитывая, описанные условия формирования угла при внутреннем и внешнем КЗ, формируется система неравенств (2), выполнение которой является необходимым условием несрабатывания защиты и соответствует логическому элементу И в схеме алгоритма измерительного органа (рис. 1).

$$\begin{cases} 0 \leq \alpha_{21} = \arg \frac{\underline{E}_2}{\underline{E}_1} \leq 120^\circ; \\ 0 \leq \alpha_{31} = \arg \frac{\underline{E}_3}{\underline{E}_1} \leq 120^\circ. \end{cases} \quad (2)$$

Необходимым и достаточным условием несрабатывания будет выполнение одной из трех систем уравнений (3), что реализуется логическим элементом ИЛИ-НЕ (рис. 1).

$$\begin{cases} 0 \leq \alpha_{21} = \arg \frac{\underline{E}_2}{\underline{E}_1} \leq 120^\circ; \\ 0 \leq \alpha_{31} = \arg \frac{\underline{E}_3}{\underline{E}_1} \leq 120^\circ. \end{cases} \quad \begin{cases} 0 \leq \alpha_{32} = \arg \frac{\underline{E}_3}{\underline{E}_2} \leq 120^\circ; \\ 0 \leq \alpha_{12} = \arg \frac{\underline{E}_1}{\underline{E}_2} \leq 120^\circ. \end{cases} \quad \begin{cases} 0 \leq \alpha_{23} = \arg \frac{\underline{E}_2}{\underline{E}_3} \leq 120^\circ; \\ 0 \leq \alpha_{13} = \arg \frac{\underline{E}_1}{\underline{E}_3} \leq 120^\circ. \end{cases} \quad (3)$$

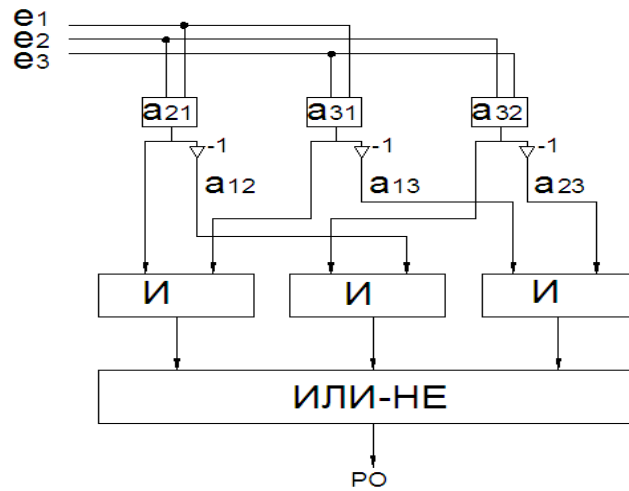


Рис. 1. Структура логики измерительного органа

В случае невыполнения ни одного из условий (3) элемент ИЛИ-НЕ выдает сигнал логической 1, реагирующий орган (РО) фиксирует факт внутреннего КЗ.

Проверка данного алгоритма функционирования проведена в среде MathCAD. Ниже представлены заданные в среде MathCAD условия срабатывания (рис. 2) и несрабатывания РО и соответствующие им ХС (рис. 3).

$$\text{WorkRZ} := \begin{cases} \text{WorkRZ} \leftarrow 1 & \text{if } [\alpha_{21_a31} = 0 \wedge (\alpha_{32_a12} = 0)] \wedge \alpha_{23_a13} = 0 \\ \text{WorkRZ} \leftarrow 0 & \text{otherwise} \\ \text{WorkRZ} \end{cases}$$

WorkRZ = 0

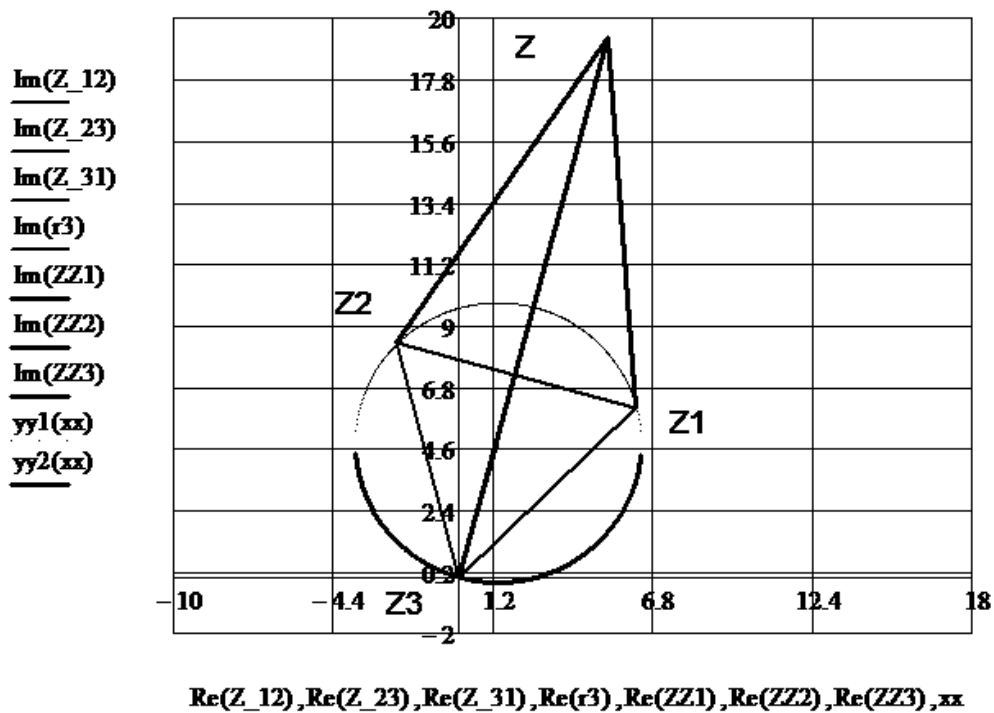


Рис. 2. Моделирование внешнего КЗ в среде MathCAD

```

WorkRZ := | WorkRZ ← 1 if [α21_α31 = 0 ∧ (α32_α12 = 0)] ∧ α23_α13 = 0
           | WorkRZ ← 0 otherwise
           | WorkRZ
WorkRZ = 1

```

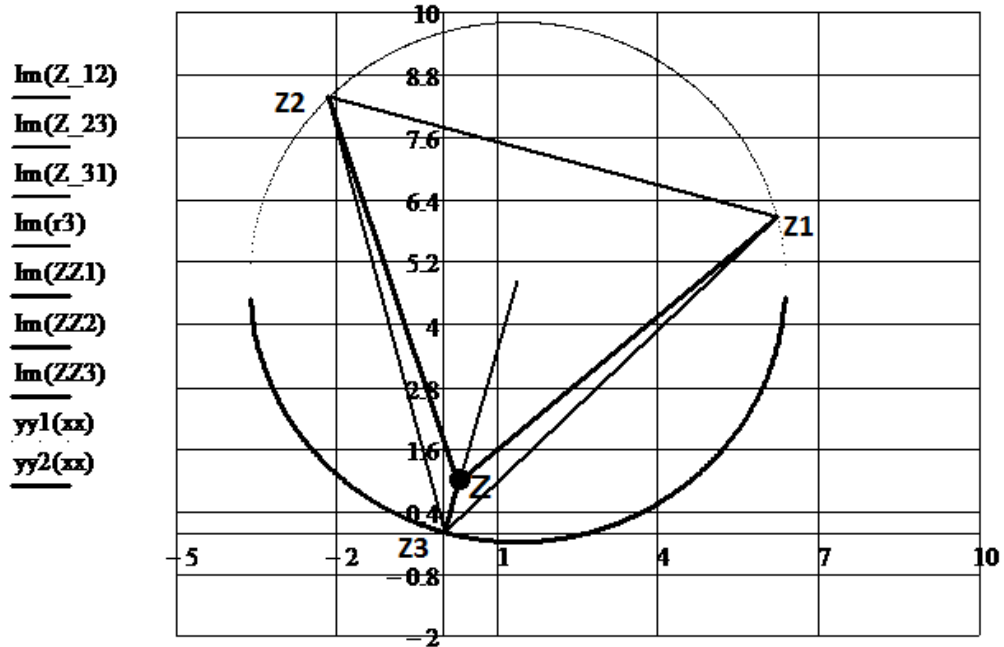


Рис. 3. Моделирование внутреннего КЗ в среде MathCAD

В среде MathCAD элементу ИЛИ-НЕ присвоено имя WorkRZ. WorkRZ=0, когда одна из систем (3) выполняется, что соответствует внешнему КЗ и элемент ИЛИ-НЕ выдает сигнал 0. WorkRZ=1, когда ни одна из систем (3) не выполняется, что соответствует внутреннему КЗ, элемент ИЛИ-НЕ выдает сигнал 1, что приводит к срабатыванию защиты. Таким образом, проверенный в MathCAD алгоритм функционирования защиты действует правильно и принят для дальнейшего рассмотрения в разрабатываемом проекте.

Полученные результаты в среде MathCAD подтверждают адекватность принятого подхода в рамках рассмотренного в статье этапа моделирования. В частности, можно сделать вывод о целесообразности выполнения аналогичных алгоритмов для II и III ступени ИО ШДЭ2801 и других функциональных элементов данного комплекта ДЗ, а именно: формирователя импульсов несовпадения (ФИН), реагирующего органа первого и второго вида (PO1, PO2).

Приведенный материал отражает часть этапов разработки вышеописанного проекта на базе ВМК РВ ЭЭС, конечной целью которого является создание модели дистанционных защит посредством СГП, позволяющей выполнение полной настройки защит и реализации факта действия устройств РЗ в аварийных режимах работы защищаемых объектов в реальном времени. Программирования полученной модели в микроконтроллер необходимо реализовать с учетом особенностей микропроцессоров серии RISC и, в частности, используемых в СГП RISC ARM7 AT91SAM7X256 фирмы AT-MEL. Для этого планируется использовать специализированную среду разработки Keil, техническое описание микропроцессора от производителя и компилятор Borland C для возможности отладки исходного кода в операционной системе Windows.