

**ПРОГРАММНЫЙ ОРГАН СОПРОТИВЛЕНИЯ****Киселев Д. Н.****Научный руководитель — профессор Ершов Ю. А.*****Сибирский федеральный университет***

В результате развития компьютерных технологий появилась возможность виртуального испытания органов релейной защиты. Современные языки программирования позволяют создать программы, которые дают возможность следить за входными и выходными данными, а также за промежуточными расчетами.

В данной работе был создан программный орган сопротивления.

При его реализации был задействован язык C++, который является одним из наиболее распространенных при создании подобных программ.

Программирование органа сопротивления производится на основе непосредственного расчета сопротивления путем деления действующих значений принужденных составляющих напряжения и тока в комплексной форме. При этом условия срабатывания органа сопротивления и характеристика срабатывания в комплексной плоскости задаются аналитически уравнениями линий, её составляющих. Поэтому алгоритм состоит из двух частей: расчета сопротивления  $Z$  и формирования условий срабатывания измерительного органа.

В первой части алгоритма, дискретные мгновенные значения принужденных составляющих напряжения и тока после цифрового фильтра, представлены ортогональными составляющими (1).

$$\begin{aligned} U_{pc}(nT) &= U_c = U_x, \\ U_{ps}(nT) &= U_s = U_y, \\ I_{pc}(nT) &= I_c = I_x, \\ I_{ps}(nT) &= I_s = I_y. \end{aligned} \tag{1}$$

Действительная (активная)  $R$  и мнимая (реактивная)  $X$  части сопротивления  $Z$  определяются по формуле

$$\begin{aligned} Z &= R + jX = (U_x + jU_y) / (I_x + jI_y) = \\ &= \frac{U_x \cdot I_x + U_y \cdot I_y}{I_x^2 + I_y^2} + j \frac{U_y \cdot I_x + U_x \cdot I_y}{I_x^2 + I_y^2}. \end{aligned} \tag{2}$$

Расчёт выполняется по различным ветвям, в зависимости от соотношения между ортогональными составляющими тока  $I_x$  и  $I_y$ .

Вычисление активных и реактивных составляющих сопротивлений повторяется при поступлении дискретных мгновенных значений ортогональных составляющих напряжений и тока.

Во второй части алгоритма формирования и проверки выполнения условий срабатывания органа сопротивления, должны быть сначала сформулированы ограничения

области срабатывания. Характеристика срабатывания в виде выпуклого многоугольника задается уравнениями прямых, образующих его стороны.

Данная программа является универсальной. Существует возможность изменения характеристики срабатывания органа сопротивления путем ввода других параметров  $R_{01}, R_{02}, X_{01}, X_{02}, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  (рис 1).

Такая характеристика используется в современных устройствах микропроцессорных релейных защит, например в дистанционной защите.

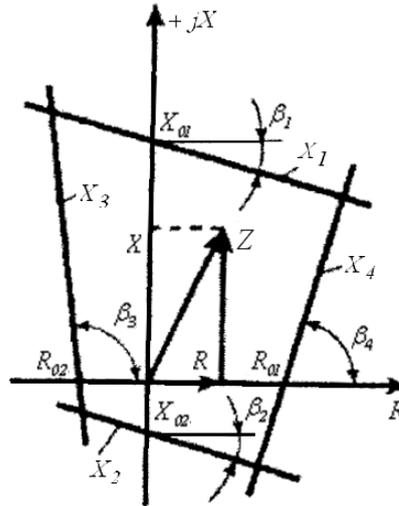


Рис. 1. Характеристика срабатывания

Алгоритм вычисления активной и реактивной составляющих сопротивления представлен на рис. 2.

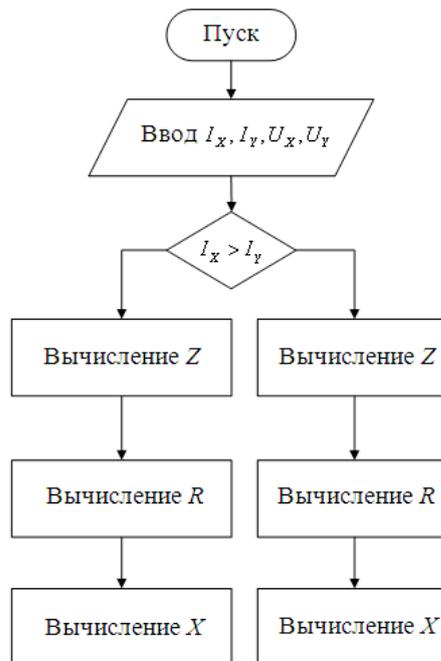


Рис. 2. Схема алгоритма вычисления активной и реактивной составляющих сопротивления

При размещении комплекса  $Z = R + jX$  внутри области срабатывания, то есть внутри четырехугольника, должны выполняться одновременно условия (3)

$$\begin{aligned} X &< X_{01} + R \cdot \operatorname{tg} \beta_1, \\ X &> X_{02} + R \cdot \operatorname{tg} \beta_2, \\ X &> (R - R_{02}) \cdot \operatorname{tg} \beta_3, \\ X &> (R - R_{01}) \cdot \operatorname{tg} \beta_4. \end{aligned} \quad (3)$$

Схема алгоритма проверки условий приведена на рис. 3.

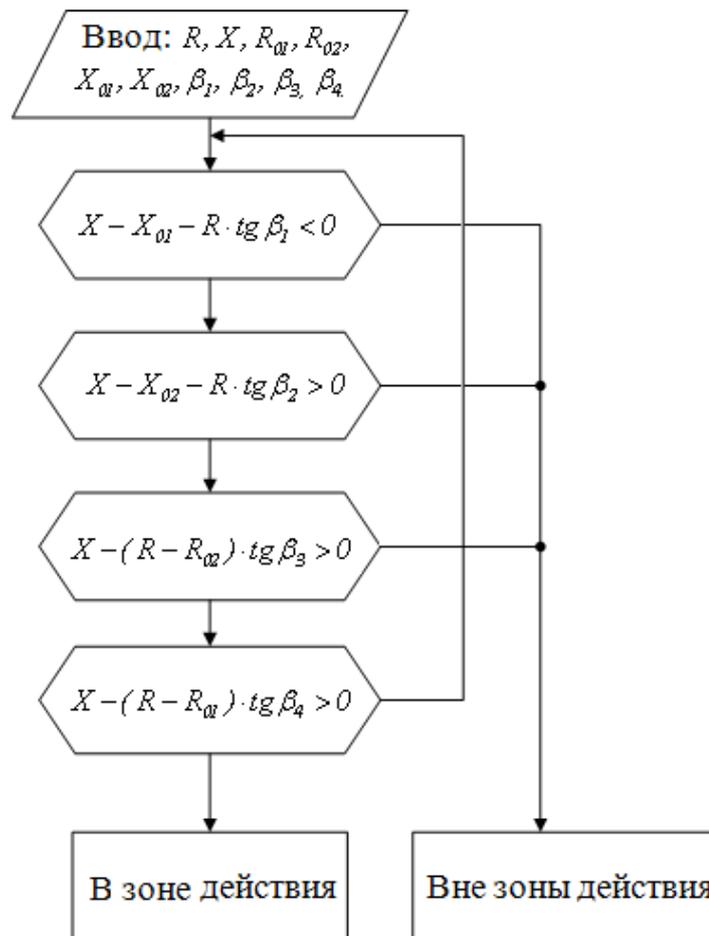


Рис. 3. Схема алгоритма условия срабатывания органа сопротивления

Испытание органа сопротивления производится в следующем порядке:

1. Запуск программы.
2. Ввод ортогональных составляющих напряжений и токов.
3. Ввод параметров, задающих форму зоны срабатывания.
4. Получение результата.

Данная модель позволяет исследовать работу органов сопротивления, как в лабораторных, так и научных целях.