

УДК 621.3

## ПРОГРАММА ТК315

Вишеватый А.Д., Зарихта К.С.

Научный руководитель – доцент БОБКО Н.Н.

Наиболее опасным аварийным кратковременным режимом работы электроустановок является режим короткого замыкания. Короткое замыкание (КЗ) – электрическое соединение двух точек электрической цепи с различными потенциалами, которое не предусмотрено нормальными условиями работы установки. Вследствие явления короткого замыкания резко увеличивается сила тока в электрической цепи. Из-за этого в электроустановках возникают большие механические усилия, и значительно повышается температура проводников, что может привести к повреждениям. Поэтому электрооборудование по режиму КЗ проверяется на электродинамическую и термическую стойкость, а коммутационные аппараты проверяются также на коммутационную способность.

Для расчета токов короткого замыкания предназначена программа ТК315. Она ориентирована на расчет токов КЗ при выполнении курсовых и дипломных работ. Программа позволяет рассчитать полное значение периодической составляющей сверхпереходного тока трехфазного, двухфазного, однофазного и двухфазного короткого замыкания на землю, симметричные составляющие этого тока, а также дает возможность определить распределение этих токов по ветвям схемы.

Несимметричные КЗ рассчитываются на основе метода симметричных составляющих, в соответствии с которым любую  $n$ -фазную систему несимметричных векторов можно разложить на  $n$  симметричных  $n$ -фазных систем. Трехфазную систему несимметричных векторов раскладывают на три симметричные трехфазные системы прямой, обратной и нулевой последовательности.

В нормальном режиме и режиме трехфазного КЗ, которые являются симметричными, протекают только токи прямой последовательности. В несимметричных режимах появляются составляющие токов обратной и нулевой последовательностей.

Рассмотрим алгоритм расчета.

Расчет режима короткого замыкания производится как расчет установившегося режима в схеме замещения, построенной для сверхпереходного режима. Математическая модель такого режима – модель на основе узловых уравнений, которая представляет собой систему алгебраических уравнений, порядок которой соответствует числу линейно независимых узлов схемы. Свертка схем замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей для заданного узла КЗ выполняется на основе преобразования многолучевой звезды в полные многоугольники. При свертывании происходит запоминание информации об удаленных узлах схем замещения, а в результате свертывания схемы замещения представляются эквивалентными ветвями, по которым производится расчет симметричных составляющих токов КЗ в указанном узле. Для эквивалентных ветвей рассчитываются результирующие ЭДС  $E$ , а также результирующие сопротивления прямой  $x_1$ , обратной  $x_2$  и нулевой  $x_0$  последовательностей. Далее происходит расчет токов прямой последовательности для разных видов КЗ:

$$I_1^{(n)} = \frac{E}{j(x_1 + x^{(n)})} \quad (1)$$

где  $E$  и  $x_1$  – соответственно результирующие ЭДС и результирующее сопротивление схемы прямой последовательности относительно заданного узла КЗ;

$n$  – индекс несимметричного КЗ:

- $n = 1$  – однофазное КЗ;
- $n = 2$  – двухфазное КЗ;
- $n = 3$  – трехфазное КЗ;
- $n = 1,1$  – двухфазное КЗ на землю.

Для разных видов короткого замыкания дополнительное сопротивление  $x^{(n)}$  равно:

- для трехфазного КЗ:  $x^{(3)} = 0$ ;
- для двухфазного КЗ:  $x^{(2)} = x_2$ ;
- для однофазного КЗ:  $x^{(1)} = x_2 + x_0$ ;

- для двухфазного КЗ на землю:  $x^{(1,1)} = \frac{x_2 \cdot x_0}{x_2 + x_0}$ .

После рассчитываются токи несимметричных коротких замыканий.

Для двухфазного КЗ ток обратной последовательности  $I_2^{(2)}$  равен току прямой последовательности с обратным знаком:

$$I_2^{(2)} = -I_1^{(2)}. \quad (2)$$

Для однофазного КЗ токи обратной и нулевой последовательности равны току прямой:

$$I_2^{(1)} = I_0^{(1)} = I_1^{(1)}. \quad (3)$$

Для двухфазного КЗ на землю токи обратной и нулевой последовательностей рассчитываются по формулам:

$$I_2^{(1,1)} = -I_1^{(1,1)} \cdot \frac{x_0}{x_2 + x_0}; \quad (4)$$

$$I_0^{(1,1)} = -I_1^{(1,1)} \cdot \frac{x_2}{x_2 + x_0}. \quad (5)$$

Полный ток в месте несимметричного КЗ пропорционален току прямой последовательности и рассчитывается по формуле:

$$I^{(n)} = m^{(n)} \cdot I_1^{(n)}, \quad (6)$$

где  $m^{(n)}$  – коэффициент пропорциональности ( $m^{(3)} = 1$ ;  $m^{(2)} = \sqrt{3}$ ;  $m^{(1)} = 3$ ).

На этом расчет токов КЗ заканчивается.

Для расчетов этих токов с помощью программы ТК315 необходимо составить файл входных данных, в котором отражаются параметры схемы замещения в относительных или именованных единицах. Для построения схемы замещения узлы расчетной трехфазной системы нумеруются целыми цифрами в произвольном порядке. Для каждой ветви схемы замещения прямой последовательности задаются номера двух узлов (начала и конца), ЭДС, а также сопротивление. Узлам, которые соответствуют нейтралю обмоток генераторов и нагрузок в схеме замещения прямой последовательности задается номер 0.

Схема замещения нулевой последовательности строится только для той части схемы, которая работает с глухозаземленной нейтралью. В некоторых случаях она может не совпадать по конфигурации со схемой замещения прямой последовательности, и вследствие этого в схеме замещения нулевой последовательности могут появиться номера узлов, которые отсутствуют в схеме замещения прямой последовательности.

Программа позволяет производить расчет токов или только междуфазных КЗ, или токов всех видов КЗ. Информация в файле входных данных представляется в виде четырех блоков:

- блок общих данных;
- блок данных о ветвях схемы прямой последовательности;
- блок данных об узлах КЗ;
- блок данных о ветвях схемы нулевой последовательности (когда она задается во входных данных).

В блоке общих данных приводится следующая информация о схеме замещения:

- признак единиц измерения, в которых построена схема замещения: (0 – относительные единицы; 1 – именованные единицы);
- признак наличия схемы замещения нулевой последовательности во входных данных: (0 – схема замещения нулевой последовательности отсутствует; 1 – схема замещения нулевой последовательности присутствует);

– признак вывода симметричных составляющих токов КЗ в ветвях схемы во входной файл: (0 – не выводятся; 1 – выводятся токи прямой последовательности; 2 – выводятся токи обратной последовательности; 3 – выводятся токи нулевой последовательности; 12 – выводятся токи прямой и обратной последовательностей; 13 – выводятся токи прямой и нулевой последовательностей; 23 – выводятся токи обратной и нулевой последовательностей; 123 – выводятся токи прямой, обратной и нулевой последовательностей);

– количество ветвей в схеме замещения прямой последовательности;

– количество узлов короткого замыкания;

– количество ветвей в схеме замещения нулевой последовательности (задается равной нулю, когда признак наличия схемы замещения нулевой последовательности был задан равным нулю);

– количество узлов схемы замещения нулевой последовательности, которые имеют нулевой потенциал (задается равным 0, когда признак наличия схемы замещения нулевой последовательности был задан равным нулю);

– базисная мощность, МВА (комплексный вид), задается равной (1,0.), когда признак единиц измерения был задан равным 1.

В блоке данных о ветвях схемы прямой последовательности записываются номер узла начала и конца ветви, ЭДС и сопротивление ветви.

Блок данных об узлах КЗ несет в себе информацию о номере узла КЗ, а также базисном напряжении в этом узле в кВ.

В последнем блоке описывается информация о схеме замещения нулевой последовательности. Когда признак наличия схемы замещения нулевой последовательности во входных данных был задан равным 0, то четвертый блок информации входных данных отсутствует. Когда этот признак был задан равным 1, то в последнем блоке описываются две группы информации. В первой группе для каждой ветви схемы замещения нулевой последовательности записываются три цифры: номера начала и конца ветвей и сопротивления этих ветвей. Вторая группа информации об узлах схемы замещения нулевой последовательности, которые имеют нулевой потенциал, представляет собой массив номеров узлов схемы замещения нулевой последовательности, которые имеют нулевой потенциал в схеме нулевой последовательности.

После ввода всей информации файлу входных данных присваивается имя типа *AAAA.dat*. Файл с таким именем заносится в программу ТК315, в которой происходит считывание информации. Далее в выходной файл выводятся результаты расчетов токов короткого замыкания, а также их составляющих, которые необходимо было рассчитать. Если узлов КЗ было задано несколько, то расчет производится циклично для каждого из них, а результаты выводятся в выходной файл, которому присваивается имя входного файла.

Когда признак наличия схемы замещения нулевой последовательности был задан равным 0, то в выходной файл выводятся результирующие сопротивления свернутой до узла КЗ схемы замещения прямой последовательности, действующее значение сверхпереходного тока КЗ и его симметричные составляющие для междуфазных КЗ в заданном узле КЗ в комплексной форме.

При наличии схемы нулевой последовательности в выходной файл выводятся результирующие сопротивления свернутых до узла КЗ схем замещения прямой и нулевой последовательностей, действующее значение сверхпереходного тока КЗ и его симметричные составляющие для всех видов КЗ в заданном узле КЗ в комплексной форме.

Если был задан расчет симметричных составляющих токов КЗ в ветвях схемы, то дополнительно в выходной файл выводятся соответствующие симметричные составляющие тока КЗ в ветвях схем замещения прямой и нулевой последовательностей. Для каждой ветви выводятся номера начала и конца узлов и доли тока в узле КЗ в комплексной форме.

Программа используется в основном в обучающих целях для расчета несложных схем в курсовом или дипломном проектировании. Применение этой программы для расчета

объемных электрических схем вызывает значительные трудности из-за сложности ввода исходных данных, а также необходимости ручного расчета параметров схем замещения.

#### **Литература**

1 Бобко, Н.Н. Программа ТК315 для расчета токов короткого замыкания на ЭВМ / Н.Н. Бобко. – Минск : БНТУ, 2016. – 14 с.

2 Руководящие указания по расчету тока короткого замыкания и выбору электрооборудования : РД 153-34.0-20.527-98 : утв. Департаментом стратегии развития и научно-технической политики 23.03.98. – М. : ЭНАС, 2002. – 152 с.