

## Литература

1. Васильев А.В., Крючков И.П. Электрическая часть станций и подстанций. – М., 1990.
2. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. – 3-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
3. Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В. Электрооборудование электрических станций и подстанций. – М.: Академия, 2004.
4. Справочник покупателя по выключателям колонковым элегазовым производства АВВ. – 2-е изд. – 2004.
5. Справочник покупателя по баковым элегазовым выключателям производства Siemens. – 2005.
6. Справочник покупателя по колонковым выключателям производства Siemens. – 2005.

УДК 621.3.022

## ПРОГРАММА TKZD01KV ДЛЯ РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ ДО 1 КВ

*Горячко М.Г.*

Научный руководитель – доцент БОБКО Н.Н.

В сети переменного тока напряжением до 1 кВ необходимо выполнять расчеты КЗ для следующих целей: для выбора электрооборудования по условиям для выбора уставок защитной аппаратуры сети, проверки ее чувствительности и тивности.

При наличии в схеме одного АД ток КЗ на выводах этого АД можно рассчитывать как сумму токов КЗ, поступающих от двух источников: системы и АД.

Однако при наличии в схеме нескольких АД на одной шинной сборке или при наличии нескольких сборок с АД схема электроснабжения значительно усложняется. Методы ручного расчета токов КЗ в таких схемах замещения становятся громоздкими, особенно при необходимости расчета тока КЗ не только в узле КЗ, но и в ветвях схемы, как это требуется при учете термического действия тока КЗ в кабельных линиях.

Целью разработки программы TKZd01kV являлось повышение точности и скорости расчетов токов КЗ в сети переменного тока напряжением до 1 кВ. Программа была введена в эксплуатацию ГПО «Белэнерго», Программа разработана для операционной среды Windows XP Professional с SP2 и выше, для формирования выходных данных необходимо использовать пакет Microsoft Office 2002 и выше.

Формирование расчетной схемы энергосистемы в графической форме и задание параметров ее элементов выполняется оператором на экране дисплея. При вводе элементов программой составляется схема замещения.

Каждый элемент расчетной схемы (генератор, трансформатор, шинопровод и т. д.) замещается одной ветвью. Для каждой ветви в списках хранятся номера двух узлов, к которым присоединена ветвь, активное и реактивное сопротивления ветви и электродвижущая сила (ЭДС) ветви. Все параметры представляются в комплексной форме.

В разработанной программе TKZd01kV использован универсальный алгоритм расчета режима на основе преобразования многолучевых звезд в полные многоугольники. Его сущность заключается в последовательном исключении узлов схемы путем преобразования ветвей отходящих от данного узла в многоугольник. Количество ветвей многоугольника, образующихся после удаления  $n$ -лучевой звезды, равно количеству сочетаний из  $n$  по два. При работе подпрограммы сворачивания схемы реализуется оптимизация процесса сворачивания. Перед удалением каждого узла выполняется анализ

списка узлов на предмет количества присоединенных к ним ветвей и в первую очередь удаляются те узлы, к которым присоединено наименьшее количество ветвей. Благодаря оптимизации размеры промежуточных списков ветвей не превышают первоначальных. После сворачивания схемы к узлу КЗ, схема замещения принимает вид одной ветви. Расчет трехфазного тока КЗ в момент времени ноль не представляет сложности.

Алгоритм преобразования звезд в многоугольники является реализацией метода Гаусса для системы узловых уравнений при списочной форме хранения информации о схеме замещения в памяти ЭВМ. Формулы преобразования имеет простой вид для случая, когда ветви представлены своими проводимостями и токами источников тока

$$YU = I.$$

Для составления матрицы узловых уравнений программа преобразует сопротивления элементов схемы в соответствующие им проводимости. Прямой ход метода Гаусса при решении системы узловых уравнений соответствует сворачиванию схемы замещения к узлу КЗ, при этом матрица узловых проводимостей из квадратной превращается в треугольную. Элементы треугольной матрицы хранят информацию о параметрах схемы замещения на момент удаления каждого узла. При обратном ходе метода Гаусса выполняется расчет узловых напряжений.

Преобразование многолучевой звезды в полный многоугольник является эквивалентным, т. е. после удаления многолучевой звезды узловые напряжения в вершинах многоугольника и в остальных узлах схемы не изменяются.

При трехфазном КЗ векторная диаграмма токов и напряжений является симметричной. При однофазном КЗ симметрия нарушается. Ток несимметричных КЗ рассчитывается методом симметричных составляющих. Его суть заключается в разложении несимметричной системы векторов в сумму трех симметричных, которые называются: система прямой, обратной и нулевой последовательности. Нахождение тока несимметричного КЗ состоит в решении трех систем узловых уравнений, составленных для прямой, обратной и нулевой последовательностей. Результирующий ток КЗ является векторной суммой найденных токов последовательностей.

Расчет токов трехфазного КЗ и несимметричных КЗ производится в следующей последовательности. Расчет токов трехфазного и двухфазного КЗ выполняется параллельно благодаря идентичности схем замещения прямой и обратной последовательности. Сначала выполняется сворачивание СПП к заданному узлу КЗ и рассчитываются эквивалентные параметры (сопротивление и электродвижущая сила) СПП, токи прямой и обратной последовательности в узле КЗ, токи трехфазного и двухфазного металлического и дугового КЗ в узле КЗ. Рассчитывается ударный ток и апериодическая составляющая тока КЗ.

После этого рассчитываются узловые напряжения аварийного режима при трехфазном КЗ путем наложения «собственно» аварийного режима трехфазного КЗ на доаварийный режим. По известным узловым напряжениям для каждой ветви рассчитываются ток трехфазного КЗ в ветви.

Затем выполняется расчет узловых напряжений прямой и обратной последовательности для двухфазного КЗ. Напряжение прямой последовательности в узле КЗ равно разности между эквивалентной электродвижущей силой СПП и падением напряжения от тока прямой последовательности на эквивалентном сопротивлении СПП. Узловые напряжения прямой последовательности равны сумме напряжений доаварийного и «собственно» аварийного режима. Напряжение обратной последовательности в узле КЗ рассчитывается как произведение тока обратной последовательности на эквивалентное сопротивление СОП. Узловые напряжения обратной последовательности при двухфазном КЗ в узлах схемы пропорциональны напряжениям «собственно» аварийного режима при трехфазном КЗ, так как схема замещения для «собственно аварийного» режима

идентична схеме замещения обратной последовательности. Поэтому для расчета узловых напряжений обратной последовательности сворачивание схемы обратной последовательности к узлу КЗ не выполняется, а узловые напряжения обратной последовательности в узлах принимаются пропорциональными напряжениям «собственно аварийного» в пропорции, равной отношению этих параметров в узле КЗ. По найденным напряжениям прямой последовательности аварийного режима рассчитываются токи прямой последовательности в ветвях схемы, а по найденным узловым напряжениям обратной последовательности рассчитываются токи обратной последовательности в ветвях схемы. Токи двухфазного КЗ в ветвях схемы равны векторным суммам токов прямой и обратной последовательностей.

После этого выполняется расчет токов однофазного КЗ. Сначала СНП сворачивается к узлу КЗ. При этом используется та же подпрограмма, что и для СПП. По эквивалентному сопротивлению СНП и найденным ранее эквивалентным сопротивлениям прямой и обратной последовательностей рассчитывается ток прямой последовательности в узле однофазного КЗ, токи металлического и дугового однофазного КЗ в узле КЗ. После этого рассчитываются напряжения прямой, обратной и нулевой последовательности в узле КЗ и в остальных узлах схемы и токи обратной и нулевой последовательности в ветвях схемы, а по ним полные токи однофазного КЗ в ветвях схемы.

Учет дуги, термического действия тока КЗ и расчет периодической составляющей тока от АД осуществляется по приведенным в стандартах ГОСТ 28249-93 типовым кривым. Методом кусочно-линейной аппроксимации определяются промежуточные значения соответствующих коэффициентов. Далее умножая эти коэффициенты на соответствующие им значения токов КЗ осуществляется учет различных факторов.

УДК 621.3

## ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

*Сеч В.И.*

Научный руководитель – КЛИМКОВИЧ П.И.

Быстрее, лучше, эффективней, при меньших затратах.

Промышленность ежедневно сталкивается с этими проблемами. Для достижения этих нелегких целей предприятия должны работать бесперебойно, без разорительных простоев и потерь времени.

Профилактическое обслуживание предприятия – это огромная ответственность. Если бы мы могли предвидеть неполадки, можно было бы абсолютно точно назначить время принятия мер по устранению неисправностей. К великому сожалению, о самых серьезных и больших проблемах человек узнает слишком поздно. Однако с применением инфракрасного излучения можно легко решить большинство существующих проблем для энергетиков. Проверяете ли вы высоковольтное оборудование, шкафы низкого напряжения, электродвигатели, насосы, высокотемпературное оборудование, ищите ли потери через изоляцию, инфракрасное оборудования позволит вам увидеть все. А что произойдет, если не проводить регулярных проверок с помощью инфракрасных приборов?

Помимо производственных потерь, это ещё и чрезвычайно опасно – пожар, даже небольшие неисправности электрооборудования могут привести к самым серьезным последствиям – эффективность электроцепи снижается, и энергия устремляется на выработку тепла. Оставаясь незамеченной, эта неисправность может вызвать повышения