

просчета от начального ψ_n до конечного ψ_k и выбирается соответствующее максимальное значение.

Разработанный метод расчета электродинамических усилий может быть использован в практике конструкторских работ по разработке шинных мостов и токопроводов с произвольным расположением изоляторов.

Л и т е р а т у р а

1. Правила устройства электроустановок. – Москва : Энергия, 1986.
2. ГОСТ 30323–95. Короткие замыкания в электроустановках: Методы расчета электродинамического и термического действия токов короткого замыкания. – Введ. 1999-01-03.
3. Электрическая часть станций и подстанций / под ред. А. А. Васильева. – Москва : Энергия, 1980.
4. Долин, А. П. Открытые распределительные устройства с жесткой ошиновкой / А. П. Долин, Г. Ф. Шонгин. – Москва : Энергоатомиздат, 1988.
5. Кудрявцев, Е. П. Расчет жесткой ошиновки распределительных устройств / Е. П. Кудрявцев, А. П. Долин. – Москва : Энергия, 1981.
6. Прима, И. А. Электродинамическая стойкость жесткой ошиновки ГРУ-10 кВ с произвольным расположением шин и изоляторов в процессе КЗ / И. А. Прима, П. И. Климович // Третья Республиканская научковая конференция студэнтаў Рэспублікі Беларусь : тэзісы дакладаў : у 5 ч. / БДУ. – Ч. 5. – Минск, 1997. – С. 350–352.

ПРОГРАММА РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 КВ

М. Г. Горячко, В. А. Устимович

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Научный руководитель Н. Н. Бобко

В сети переменного тока напряжением до 1 кВ необходимо выполнять расчет токов короткого замыкания (КЗ) для следующих целей: для выбора электрооборудования по условиям КЗ; для выбора уставок защитной аппаратуры сети, проверки ее чувствительности и селективности.

Целью разработки программы ТКZdo1kV являлось повышение точности и скорости расчетов токов КЗ. Программа внедрена на предприятиях 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. Программа разработана в соответствии с требованиями ГОСТ 38349-93.

Формирование расчетной схемы энергосистемы в графической форме и задание параметров ее элементов выполняется оператором на экране дисплея (рис. 1). При вводе элементов программой составляется схема замещения.

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.

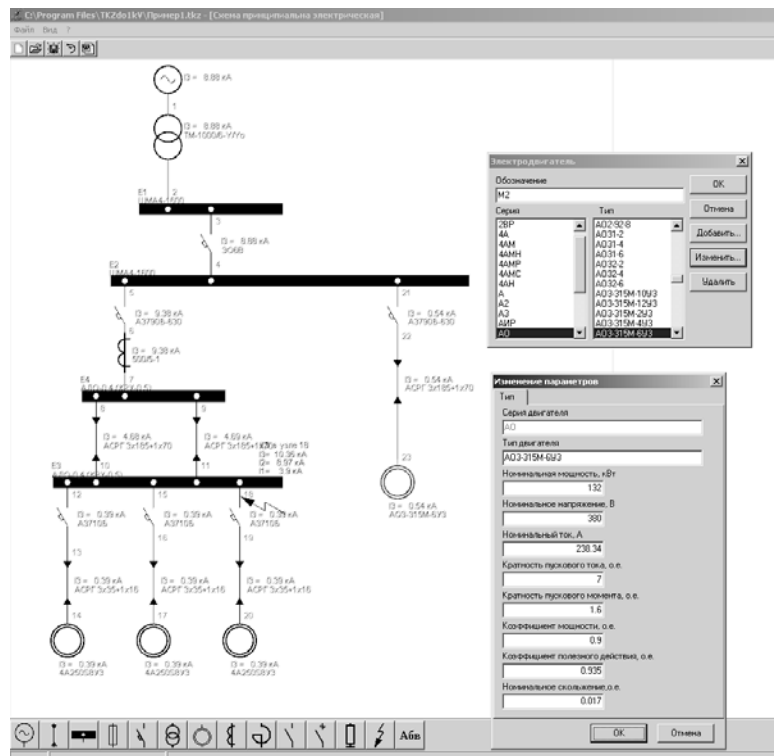


Рис. 1. Внешний вид рабочего окна программы

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 TKZdo1kV 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.

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 информа-

цию 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.

Для расчета токов КЗ в ветвях схемы необходимо знать узловые напряжения во всех узлах схемы в аварийном режиме. При вычислении узловых напряжений аварийного режима используются узловые напряжения двух режимов:

- а) нормального (доаварийного) режима;
- б) вспомогательного (так называемого «собственно» аварийного) режима.

«Собственно» аварийный режим соответствует схеме замещения, в которой ЭДС всех источников приняты равными нулю, а в узле КЗ действует напряжение, равное напряжению доаварийного режима, но с обратным знаком. Аварийный режим схемы получается наложением «собственно» аварийного режима на доаварийный режим, т. е. напряжения аварийного режима равны сумме напряжений «собственно» аварийного и доаварийного режимов в соответствующих узлах схемы. Расчет напряжений «собственно» аварийного режима в узлах схемы выполняется с использованием той же треугольной матрицы узловых проводимостей, что и для расчета напряжений доаварийного режима, но с нулевыми правыми частями уравнений.

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 на систему 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.

ПРОГРАММА РАСЧЕТА И АНАЛИЗА РЕЖИМОВ РАЗОМКНУТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 6–35 КВ

С. С. Лысюк

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Научный руководитель М. И. Фурсанов

Электрическая сеть характеризуется некоторой совокупностью параметров состояния: характеристиками элементов сети (марки проводов и их параметры, длины участков, типы и параметры трансформаторов, типы коммутационных аппаратов и т. д.) и взаимосвязью этих элементов между собой (топологией сети).

В настоящее время в связи массовым применением вычислительной техники активно создаются базы данных, отражающих характеристики сетей различных номинальных напряжений и их топологию.

Существует множество программ, предназначенных для формирования баз данных и расчета параметров режима – токи, напряжения, потоки и потери активной и реактивной мощности в узлах и ветвях электрической сети. Программы такого рода необходимы при эксплуатации электрических сетей для поддержания режимов, обеспечивающих надежное электроснабжение потребителя при минимальных технических потерях электроэнергии.

В докладе представлена программа «Azimut 6–35», основное назначение которой – снижение стоимости передачи электроэнергии за счет определения наиболее