

АЛГОРИТМ И ПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПУТЕЙ ПРОТЕКАНИЯ ТОКОВ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Климентионюк А.К., Рубинштейн Д.Б.

Наиболее распространёнными видами коротких замыканий (КЗ) в трёхфазных электрических сетях являются несимметричные КЗ: двухфазное, одно- и двухфазное на землю. Для расчёта несимметричных режимов в электрических системах, в том числе и несимметричных КЗ, используется метод симметричных составляющих [1].

При расчётах несимметричных КЗ составляются схемы замещения отдельных последовательностей. В каждую схему входят элементы, по которым при заданном виде повреждения проходят токи соответствующих последовательностей. Если составление схем замещения прямой и обратной последовательностей не вызывает особых проблем, то составление схем замещения нулевой последовательности, используемых при расчётах токов КЗ на землю, имеет определённые трудности.

Схема замещения нулевой последовательности существенно отличается от схемы прямой последовательности в силу различных путей циркуляции токов. Конфигурация схемы нулевой последовательности определяется в основном схемой соединения обмоток трансформаторов и генераторов, а также режимом заземления их нейтрали. Для автоматизации процесса построения данной схемы был разработан алгоритмический аппарат определения путей протекания токов нулевой последовательности, на основе которого создана компьютерная программа.

Сложности при составлении алгоритма:

- представление исходных данных в графическом виде;
- многообразии возможных конфигураций электрических сетей и входящего в их состав оборудования;

Основная идея разработанного алгоритма – разделение всей сети на отдельные подсети. Внутри каждой подсети элементы между собой объединены только электрической связью. Соответственно, такая подсеть имеет только одно номинальное напряжение. Между собой подсети объединены только магнитной связью. Таким образом, вся сеть будет представлять собой объединённые магнитной связью обмотки трансформаторов подсети. При наличии в сети автотрансформаторов на начальном этапе работы алгоритма принимается, что между электрически связанными обмотками есть только магнитная связь.

Каждая подсеть имеет один из следующих статусов:

- ток нулевой последовательности не может протекать в подсети;
- ток нулевой последовательности может протекать в подсети;
- ток нулевой последовательности не протекает в подсети;
- ток нулевой последовательности протекает в подсети.

Первым этапом работы алгоритма является анализ каждой подсети на возможность протекания тока нулевой последовательности. Необходимым условием такой возможности является наличие хотя бы двух точек связи с землей. Такой точкой может являться либо место КЗ на землю, либо заземление нейтрали обмотки трансформатора, автотрансформатора или генератора. В результате этого этапа всем подсетям присваивается либо первый, либо второй статус.

На втором этапе, согласно разработанному алгоритму, определяется наличие тока нулевой последовательности в каждой подсети. Критериями наличия этого тока являются:

- точка КЗ в подсети;

– магнитная связь с подсетью, в которой уже ранее было определено наличие тока нулевой последовательности. Эта связь обязательно должна быть через обмотки с заземлённой нейтралью. В противном случае вышеупомянутый критерий не работает [2].

В случае, если исследуемая подсеть имеет второй статус, и для нее выполняется хотя бы один из указанных критериев, то этой подсети присваивается четвёртый статус.

Третий этап работы алгоритма – проверка изменения статуса подсетей. При изменении своего статуса хотя бы одной из подсетей алгоритм повторяет свою работу, начиная со второго этапа до тех пор, пока статусы всех подсетей не останутся неизменными. Только тогда происходит переход к четвёртому этапу.

На втором и третьем этапах обрабатываются только подсети со вторым статусом. Благодаря наличию цикла в конце третьего этапа фиксируется, что по подсетям, у которых остался второй статус, гарантированно не протекает ток нулевой последовательности.

На четвёртый этапе все подсети с первым и вторым статусом меняют его на третий. Таким образом, в результате работы алгоритма каждой подсети присваивается либо третий, либо четвёртый статус.

На пятом этапе работы алгоритма рассматриваются элементы подсети – обмотки трансформаторов и генераторов. Изначально считается, что в подсети с четвёртым статусом по всем элементам протекает ток нулевой последовательности, а в подсети с третьим статусом – по всем элементам этот ток не протекает. Однако существуют два уточнения:

– по элементу, нейтраль которого не заземлена, ток нулевой последовательности не протекает;

– по обмотке трансформатора со схемой соединения «треугольник» протекает ток нулевой последовательности при его наличии хотя бы в одной из обмоток, соединённых по схеме «звезда с нулевым проводом».

В результате выполнения пятого этапа для каждого элемента в сети определено, протекает ли по нему ток нулевой последовательности. На основе представленного алгоритма на языке C# создана компьютерная программа.

Разработанная программа предназначена для облегчения работы инженеров и проектировщиков, а также будет полезна в образовательном процессе вузов.

Литература

1. Ульянов С.А., Электромагнитные переходные процессы в электрических системах: Учебник для электротехнических и энергетических ВУЗов и факультетов. – М.: Энергия, 1970.
2. Электромагнитные переходные процессы / С.М. Силук, Л.Н. Свита. – Минск: Технопринт, 2000.