

НАДЕЖНОСТЬ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ ЕМКОСТНОГО ТОКА ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ

Рассмотрены вопросы работы автоматизированной системы компенсации емкостного тока однофазного замыкания на землю (I_c) в электрических сетях электроэнергетических систем напряжением 6-10кВ на основе анализа и использования напряжения нейтрали, позволяющей повысить надежность эксплуатации транспортных электросетей. Приведены обстоятельства, влияющие на работу автоматических регуляторов при различных видах асимметрии, возникающих при однофазном замыкании.



Татьяна Путова



Павел Малоищцкий



Михаил Вьюнов



Владимир Гречин

Ограничение тока однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) достигается с помощью резонансного заземления нейтрали, задача которого свести до нуля реактивную (емкостную) составляющую тока в месте ОЗЗ. Для этой цели используются регулируемые дугогасящие реакторы (ДГР). ДГР различаются способом регулирования индуктивности, которая постоянно должна поддерживаться на значении, резонирующем с изменяющейся емкостью электрической сети (ЭС). Эта задача выполняется автоматическими регуляторами (АР). Работа регуляторов, выполненных на амплитудно-фазовом принципе (АФП), в условиях ОЗЗ, как правило, не предусмотрена. Поэтому, в момент возникновения ОЗЗ, АР должен быть отключён.

Для работы АР, выполненных на основе АФП, используется напряжение нейтрали (НН), которое должно быть определенной величины. НН вызывает асимметрия фазных проводимостей ЭС. Поведение вектора НН, его направление и модуль, при ёмкостной и активной асимметрии различно.



Рис.1. Установка системы компенсации I_c

Для исключения работы АР при ОЗЗ предусматривается блокировка, срабатывающая при ОЗЗ и отключающая АР. Для эффективной работы блокировки необходимо правильно её настроить путем выбора уставки срабатывания по НН.

Рассмотрим поведение НН при активной и ёмкостной асимметрии, т.е. при наличии ОЗЗ и при его отсутствии.

Известно, что в любой электрической цепи на угловые характеристики между напряжениями, между токами, между токами и напряжениями оказывают влияние соотношения активных и реактивных сопротивлений или проводимостей.

1. Напряжение нейтрали при ёмкостной асимметрии при отсутствии ОЗЗ.

При отсутствии ОЗЗ преобладает ёмкостная асимметрия (естественная или искусственная), которая даже при незначительном отклонении параметров ЭС изменяет фазовые характеристики контура нулевой последовательности:

- угол вектора НН отличается от угла вектора напряжения фазы, где возникла асимметрия, и занимает промежуточные значения от 0° до 90° . Знак и величина угла будут определяться соотношением между ёмкостной и индуктивной проводимостью. При этом геометрическим местом положения конца вектора НН является окружность;
- при настройке ЭС в «резонанс» угол вектора НН расположен под 90° по отношению к углу вектора напряжения фазы с измененной емкостью (где возникла асимметрия). На этот угол и настраивается АР.

2. Напряжения на нейтрали при активной асимметрии.

В случае появления ОЗЗ возникает активная асимметрия, которая подавляет ёмкостную. В этом случае, как правило, вектор НН меняется без изменения ёмкости сети. При этом угол активной составляющей вектора НН может не совпадать с углом реактивной составляющей и может быть любым, так как зависит от следующих параметров:

- на какой фазе возник дефект;
- степени расстройки компенсации;
- величины переходного сопротивления в месте ОЗЗ.

При отсутствии блокировки это спровоцирует и расстройку компенсации, и рост тока в месте ОЗЗ. Особенно опасным является режим недокомпенсации. При изменении активной проводимости фазы на некоторую величину, изменяются и фазовые характеристики контура нулевой последовательности сети. При этом происходит следующее:

- при металлическом ОЗЗ сопротивление в точке повреждения равно нулю, так как место повреждения шунтирует (закорачивает) сопротивление изоляции фазы относительно земли. Вследствие этого НН становится равным фазному значению. Направление вектора НН составляет 180° по отношению к вектору фазного напряжения до повреждения. То есть напряжение на повреждённой фазе относительно земли равно нулю и НН от величины расстройки не зависит;
- при начальном развитии дефекта, когда изменение сопротивления фазы относительно земли ещё незначительно, проводимость фаз относительно земли определяется, прежде всего, ёмкостной составляющей. Угол вектора НН, вызванного развивающимся дефектом по отношению к фазе, на которой этот дефект возник, будет близким к 90° . При этом величина НН будет незначительной и сопоставима с естественной или искусственной несимметрией до повреждения;
- при неполной земле вектор НН по углу и величине будет занимать промежуточные значения, так как активное сопротивление относительно земли повреждённой фазы будет определяться, прежде всего, активным сопротивлением в точке повреждения. При этом ёмкостное сопротивление этой же фазы относительно земли останется неизменным. Соотношение активного сопротивления и ёмкостного будет иным, чем на других фазах и будет определяться активным сопротивлением в точке повреждения.

При этом блокировка «срабатывания регулятора при ОЗЗ», предусмотренная в автоматических регуляторах, должна удовлетворять требованиям ПТЭ.

Оценим качественно - какой должна быть уставка «напряжения срабатывания блокировки (НСБ) при ОЗЗ» не нарушая соответствующих Директивных документов. Для выполнения этого условия необходимо:

- в режиме регулирования – НСБ должно быть выше значения НН;
- при однофазном замыкании – НСБ должно быть ниже значения НН.

Вышеуказанные требования являются взаимоисключающими, что требует принятия компромиссного решения.

Таким решением является выбор уставки "НСБ при ОЗЗ" при соблюдении следующих условий:

- $U_o < 0,15U_\phi$;
- $U_{cp} \geq U_o$ при отсутствии ОЗЗ;
- $U_{cp} < U_{oz}$;
- $U_{cp} \rightarrow 0$ при активной асимметрии стремящейся к нулю

где U_o – НН в режиме регулирования; U_{cp} – " НСБ при ОЗЗ "; U_{oz} – НН при ОЗЗ.

Очень важно и необходимо, чтобы блокировка АР была отлажена не только при металлической земле, когда НН близко к фазному напряжению, но и при развивающемся дефекте фазной изоляции, т.е. при небольших значениях НН (соизмеримых с рабочими значениями напряжения смещения и уставками АР), так как:

- в случае неполного или развивающегося ОЗЗ поведение НН носит непредсказуемый характер, является хаотичным, зависящим от начальных значений и характера протекаемых процессов в изоляции дефектной фазы;

- при дуговых замыканиях возможны значения НН как меньше, так и больше фазного напряжения. В этом случае в напряжении присутствуют кроме основной гармоники высокочастотные составляющие. При этом и основная, и высшие гармоники имеют нестационарный характер. Учитывая высокую чувствительность цифровых микросхем к высокочастотным воздействиям и наводкам, нестационарность входного сигнала по амплитуде, фазе и частоте предсказать реакцию АР в этих условиях невозможно. В этом случае необходима блокировка автоматики.

Уставка " НСБ при ОЗЗ " равной $U_{cp} < 0,15U_\phi$ позволит:

- предупредить превышение НН в процессе регулирования;
- при однофазных повреждениях (металлическое замыкание на землю, замыкание через переходное сопротивление, дуговые замыкания с открыто горячей дугой и с горением дуги в замкнутом объёме) охватить почти весь диапазон возможных значений НН.

Соблюдая при выборе уставки условие: $0,15U_\phi \geq U_{cp} > U_o$ будут учтены различные виды однофазных повреждений, сопровождаемых появлением НН, когда регулирование реактора нежелательно (неполнофазные режимы, феррорезонансные и резонансные процессы).

Выводы

1. Нижнее значение напряжения блокировки ОЗЗ должно превышать НН в режиме регулирования.
2. Верхнее значение напряжения блокировки ОЗЗ не должно превышать 15% U_ϕ .
3. Блокировка автоматики должна действовать не только при металлической земле, но и при развивающемся повреждении фазной изоляции, т.е. при небольших значениях НН (соизмеримых с рабочими значениями напряжения смещения).

Татьяна Путова, руководитель группы защиты от перенапряжений ООО УПЦ "Волжскэнергонадзор"

Павел Малюшицкий, ведущий инженер группы защиты от перенапряжений ООО УПЦ "Волжскэнергонадзор"

Михаил Вьюнов, заместитель главного инженера ООО УПЦ "Волжскэнергонадзор"

Владимир Гречин, канд.техн.наук, член МЭА