

УДК 621.311.014

Т.Е. ПУТОВА, руководитель группы
П.Г. МАЛЮШИЦКИЙ, ведущий инженер,
М.В. ВЬЮНОВ, заместитель главного инженера
(ООО УПЦ "Волжскэнергонадзор)
В.П. ГРЕЧИН, к.т.н. член МЭА,
г. Нижний Новгород

Автоматическая система компенсации емкостного тока однофазного замыкания

Работа электрических сетей (ЭС) в аварийных режимах поддерживается, в том числе, путем ограничения тока однофазного замыкания на землю (ОЗЗ). Для этой цели используются регулируемые дугогасящие реакторы (ДГР). ДГР различаются способом регулирования индуктивности, которая постоянно должна поддерживаться на значении, резонирующем с изменяющейся емкостью ЭС. Эта задача выполняется автоматическими регуляторами (АР). Работа регуляторов, выполненных на амплитудно-фазовом принципе (АФП), в условиях ОЗЗ, как правило, не предусмотрена.

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

Поэтому, в момент возникновения ОЗЗ, АР должен быть заблокирован. Для эффективной работы блокировки необходимо ее правильно настроить путем выбора уставки срабатывания по НН. Рассмотрим поведение НН при активной и емкостной 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.

Напряжение на нейтрали при емкостной асимметрии.

При отсутствии ОЗЗ преобладает емкостная асимметрия (естественная или искусственная). Даже незначительное отклонение параметров ЭС влияет на емкостную асимметрию и 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 емкостной и индуктивной проводимостью;
- 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.

Напряжение 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.

При этом блокировка «срабатывания регулятора при ОЗЗ», предусмотренная в АР, должна удовлетворять требованиям ПТЭ – не превышать $0,15U_{\phi}$.

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

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

Вышеуказанные требования являются взаимоисключающими, что требует принятия компромиссного решения.

Таким решением является выбор уставки «напряжения срабатывания блокировки при ОЗЗ» АР, которая должна быть отлажена не только при металлической земле, когда НН близко к фазному напряжению, но и при начальном и развивающемся дефектах фазной изоляции, так как:

- в случае неполного или развивающегося ОЗЗ поведение НН носит непредсказуемый характер, является хаотичным, зависящим от 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. Выбор уставки "напряжения срабатывания блокировки при ОЗЗ" позволит:

- предупредить превышение НН в процессе регулирования;
- при однофазных повреждениях (металлическое замыкание на землю, замыкание через переходное сопротивление, дуговые замыкания с открыто горящей дугой и с горением дуги в замкнутом объеме) охватить почти весь диапазон возможных значений НН.
- учесть различные виды однофазных повреждений, сопровождаемых появлением НН, когда регулирование реактора нежелательно (неполнофазные режимы, феррорезонансные и резонансные процессы).

Выводы

1. Эффективная работа автоматической блокировки определяется ее правильной настройкой путем выбора уставки срабатывания по напряжению нейтрали.

2. Автоматическая блокировка должна действовать не только при металлической земле, но и при развивающемся повреждении фазной изоляции.