

Комбинированная защита от однофазных замыканий на землю

Езерский Владимир Георгиевич (ООО «НТЦ «МЕХАНОТРОНИКА»)

От 80 до 90% случаев повреждения в сетях 6-35 кВ вызвано однофазными замыканиями на землю – **ОЗЗ**. В настоящее время для защиты от **ОЗЗ** используются серийно выпускаемые устройства типа ЗЗН, УСЗ-ЗМ и др., а также различные устройства единичного и мелкосерийного производства [1]. Опыт многолетней эксплуатации различных по принципу действия устройств защиты от **ОЗЗ**, а также анализ многочисленных публикаций по данной тематике [1, 2, 3,4 и др.] позволяет с уверенностью утверждать, что общепризнанного по селективности и надежности действия устройства релейной защиты от **ОЗЗ** для сетей с различными режимами заземления нейтрали в настоящее время не существует.

Как известно, в устройствах защиты от **ОЗЗ** для выявления аварийных аномальных режимов используются векторные и спектральные характеристики тока и напряжения нулевой последовательности $3I_0$ и $3U_0$. Например, устройство ЗЗП-1 и его усовершенствованный вариант ЗЗН контролируют ток $3I_0$, напряжение $3U_0$ и угол сдвига фаз между ними (направление мощности нулевой последовательности).

Однако эти и подобные устройства позволяют достоверно определить **ОЗЗ** только при устойчивом характере замыкания на землю. Если процесс **ОЗЗ** протекает нестабильно, то характеристики тока нулевой последовательности имеют неустойчивый, случайный характер, что часто приводит либо к несрабатыванию, либо к излишнему неселективному срабатыванию устройств защиты от **ОЗЗ**.

Направленная защита в сетях с изолированной нейтралью, селективно срабатывает при металлических и устойчивых дуговых замыканиях. При наличии дугогасящих реакторов ДГР из-за подавления основной составляющей тока $3I_0$, направленная защита не действует а при перекомпенсации такая защита действует заведомо неселективно. Поэтому на практике рекомендуется устанавливать режим недокомпенсации и использовать защиты с высокой чувствительностью по току $3I_0$ основной гармоники ($3I_0$ 50). При перемежающихся дуговых замыканиях направленная защита либо не действует, либо срабатывает неселективно.

В устройстве сигнализации УСЗ-ЗМ вручную, поочередно определяют сумму высокочастотных составляющих тока $3I_0$ в каждом фидере, отходящем от сборных шин КРУ. Метод измерения действующего значения суммы токов высших частот в токе $3I_0$ ($3I_0$ ВЧ), и выявления поврежденного фидера по наибольшему значению $3I_0$ ВЧ, имеет весьма высокую достоверность. К недостаткам централизованного общесекционного устройства УСЗ-ЗМ следует отнести:

- действие только при устойчивом **ОЗЗ**;
- значительные затраты времени на определения поврежденного фидера оператором.

Учитывая сказанное, при разработке селективного устройства защиты от **ОЗЗ** для присоединений, отходящих от секции КРУ, были поставлены следующие задачи:

1. Создать комбинированное устройство, сочетающее положительные свойства направленной защиты от **ОЗЗ**, учитывающей ток основной частоты 50 Гц и защиты от **ОЗЗ**, использующей токи высших частот.
2. Повысить достоверность и автоматизировать процесс определения поврежденного присоединения с использованием высокочастотных составляющих тока $3I_0$
3. Уменьшить вероятность излишнего действия направленной защиты
4. Обеспечить непрерывность действия устройства при устойчивых **ОЗЗ**
5. Обеспечить регистрацию одиночных и повторно-кратковременных **ОЗЗ**

В качестве направленной защиты в разработанном устройстве применена высокочувствительная защита от ОЗЗ, используемая в цифровых терминалах серии **БМРЗ** с начала их серийного выпуска в 1996.

В алгоритме этой защиты (обозначим её как H_{50}) предусмотрено использование следующих величин:

- действующего значения основной гармоники тока нулевой последовательности $3I_{050}$, получаемого от стандартного ТТНП. Чувствительность по току $3I_{050}$ этой защиты составляет 2 мА, что в зависимости от коэффициента трансформации ТТНП соответствует 50-70 мА в первичных значениях тока нулевой последовательности. Уставка по току $3 I_0$ в данной защите используется прежде всего для отстройки от небаланса и наводок во вторичной цепи ТТНП.

- действующее значение тока $3 I_{050}$ информативного значения для работы алгоритма направленной защиты не имеет;

- действующего значения основной гармоники напряжения нулевой последовательности $3U_0$, получаемого от обмоток трансформатора напряжения, соединенных в «разомкнутый» треугольник. Чувствительность по напряжению $3U_0 - 5В$, а устойчивость к перегрузке по напряжению $3 U_0 - 350 В$ длительно. Уставка по напряжению $3U_0$ в данной защите используется прежде всего для отстройки от небаланса в цепях обмоток ТН. Действующее значение напряжения $3 U_0$ информативного значения для работы алгоритма направленной защиты не имеет;

- угла между векторами основных гармоник $3I_0$ и $3U_0$, получаемого расчетным путем.

Направленная защита H_{50} в терминалах серии **БМРЗ** имеет зону срабатывания по углу между векторами $3I_0$ и $3U_0 - (170 \pm 5^\circ)$, а направление зоны срабатывания определяется уставкой, изменяемой с шагом 1° в пределах от 0° до 360° . Фактор «угла максимальной чувствительности» в рассматриваемой защите отсутствует, так как её угловые характеристики не зависят от значений $3 I_0$ и $3 U_0$. Минимальное время срабатывания защиты составляет – 40 мс, а наибольшая уставка срабатывания может быть задана равной 20 с.

Быстродействующая направленная защита H_{50} , действующая на отключение, может использоваться при двойных однофазных замыканиях на линиях 10 кВ, отходящих от тяговых подстанций железных дорог. Особую опасность такое повреждение представляет, когда ток двойного замыкания может пройти по рельсу [49].

Защита H_{50} сохраняет свои свойства и в сетях с компенсированной нейтралью, когда ДГР настроен с «недокомпенсацией» и остаточная емкостная составляющая в токе $3I_{050}$ при **ОЗЗ** превышает чувствительность защиты, равную 3 мА.

Известно, что рассматриваемый алгоритм H_{50} может срабатывать излишне (неселективно) при:

- **ОЗЗ** в сетях с перекомпенсацией;
- перемежающихся (прерывистых) дуговых **ОЗЗ** в сетях с изолированной нейтралью.

Для устранения излишних отключений не следует допускать работу сетей в режиме перекомпенсации, а при возникновении неустойчивых дуговых замыканий следует блокировать работу алгоритма H_{50} . Однако в любом случае чувствительный орган защиты от **ОЗЗ** по $3U_0$ может работать на сигнализацию.

Поэтому в комбинированной защите от **ОЗЗ** помимо алгоритма направленной защиты H_{50} применен алгоритм $T_{ЗВч}$, обеспечивающий контроль «свободных» составляющих, присутствующих в спектре тока $3I_0$ при **ОЗЗ**.

В качестве пускового органа в данном алгоритме используется пороговый элемент $3 U_0$, имеющий уставку по напряжению от 10 В и время срабатывания от 40 мс. После срабатывания пускового органа значение тока $3I_{0Вч}$ записывается в память устройства и может использоваться для:

- проведения измерений, выполняемых по принципу, использованному в устройстве типа УСЗ-3М с передачей информации по каналу связи и последующего отключения поврежденного фидера по команде из АСУ;

- селективного отключения поврежденного присоединения при использовании в алгоритме специальной времятоковой характеристики. Обратозависимые характеристики типа RXIDG, используемые в устройствах фирмы АВВ [2,5] не имеют четких методик по расчету уставок срабатывания.

В алгоритме ТЗ_{ВЧ} применена характеристика изображенная на рис. 1.

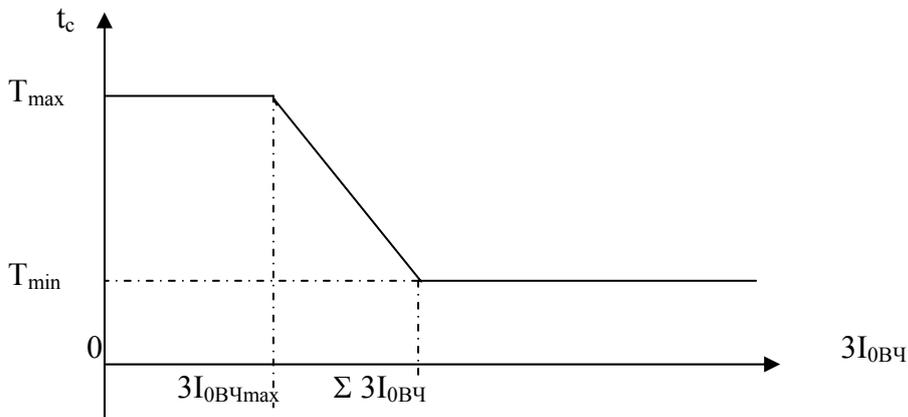


Рис. 1 Время срабатывания ТЗ_{ВЧ} в зависимости от значения тока 3I_{0ВЧ}

Работа алгоритма, использующего предложенную характеристику, происходит следующим образом. Предварительно на всех защитах, установленных на присоединениях секций КРУ, устанавливаются одинаковые уставки. При возникновении **ОЗЗ** значения токов во всех неповрежденных присоединениях находятся в диапазоне от 0 до 3 I_{0ВЧМАХ} (см. рис.1), а время срабатывания ТЗ_{ВЧ} составляет T_{МАХ}. Через поврежденное присоединение протекает суммарный ток всех неповрежденных присоединений, что на характеристике соответствует участку от 3 I_{0ВЧМАХ} до Σ I_{0ВЧ}, а время срабатывания находится на участке от T_{МАХ} до T_{МИН} (см. рис.1). После срабатывания защиты на поврежденном присоединении произойдет возврат защит на остальных присоединениях. Если защита действует не на отключение, а на сигнализацию, необходимо групповое устройство сигнализации, фиксирующее первое срабатывание.

При задании уставок для алгоритма, использующего рассматриваемую характеристику, следует учитывать нестабильность параметров 3 I₀, особенно для сетей с компенсированной нейтралью. Согласно отдельным публикациям [6, 7], емкостные токи в сети могут изменяться в несколько раз в течение дня в зависимости от характера **ОЗЗ**.

Рассмотренные алгоритмы Н₅₀ и ТЗ_{ВЧ} объединяются в комбинированном устройстве защиты от **ОЗЗ**, причем выбор первого или второго алгоритма производится автоматически и определяется характером замыкания. При устойчивых замыканиях, в том числе и дуговых, действует алгоритм направленной защиты Н₅₀. При неустойчивых дуговых **ОЗЗ** действует токовая защита ТЗ_{ВЧ}.

Запуск одного из двух алгоритмов защиты от **ОЗЗ** осуществляется по результату спектрального анализа тока 3I₀ в начальной стадии замыкания, определяющего его коэффициент синусоидальности K_c по формуле:

$$K_c = 3I_{050} / 3I_{0ВЧ} \quad (1)$$

При кратковременных пробоях и дуговых прерывистых **ОЗЗ** значение K_c приближается к нулю. Для устойчивых металлических замыканий значение K_c стремится к ∞ .

Поэтому коэффициент синусоидальности тока $3I_0$ может рассматриваться как простой и понятный признак устойчивости / неустойчивости **ОЗЗ**.

Для практического использования коэффициента K_c в качестве условия выбора одного из двух алгоритмов, в комбинированном алгоритме защиты от **ОЗЗ** предусмотрено задание уставки $K_{сп}$, выбираемой из диапазона значений от 0,2 до 1,0.

При $K_c > K_{сп}$ активизируется алгоритм направленной защиты H_{50} , контролирующей направление мощности нулевой последовательности. При $K_c < K_{сп}$ алгоритм защиты H_{50} блокируется и активизируется алгоритм защиты ТЗ_{вч}. Предусмотрено действие обоих алгоритмов как на отключение, так и на сигнализацию.

Благодаря встроенному осциллографу, регистратору аварийных событий и регистратору кратковременных замыканий, обеспечена возможность корректировки уставок защиты на основе статического анализа. Такой подход определения уставок для защит от **ОЗЗ** в сетях с изолированной и компенсированной нейтралью более эффективен, чем расчетные методы. Кроме этого, массовое использование такого устройства позволит собрать и обобщить статистические данные, полезные для оценки работы других защит от **ОЗЗ**.

Как и во всех разработках НТЦ «Механотроника», пользователю обеспечены все сервисные возможности современного цифрового устройства РЗА. Дополнительно предусмотрена сигнализация каждого вида **ОЗЗ**.

Литература:

1. Шуин В.А., Гусенков А.В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6-10 кВ. М.:НТФ «Энергопрогресс». //Приложение к журналу, «Энергетик», выпуск 11(35) 2001, 102 с.
2. Шабад М.А. Защита от однофазных замыканий на землю в сетях 6-35 кВ. СПб, ПЭИПК.
3. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. СПб., ПЭИПК, 2003 г.
4. Борухман В.А. Об эксплуатации селективных защит от замыканий на землю в сетях 6-10 кВ и мероприятия по их совершенствованию.// «Энергетик», 2000 г., №1 стр.20-22
5. Ограничения перенапряжений и режимы заземления нейтрали сетей 6-35 кВ. Труды третьей всероссийской научно-технической конференции. Новосибирск, сентябрь 2004 г.