

СЕКЦИЯ 8.
РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА, АВТОМАТИКА, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ВЫБОР МЕТОДА РЕАГИРОВАНИЯ ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В КОМПЕНСИРОВАННЫХ
СЕТЯХ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ УГЛОВЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ
ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

В.В. Гречушников
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭЭС

Введение

В настоящее время существует довольно много различных устройств защиты от замыканий на землю в сетях с компенсацией емкостного тока [1, 2, 3]. Однако отсутствует решение, которое в полной мере соответствует условиям их массового использования.

Общеизвестным требованием к данной защите является необходимость обеспечения правильного функционирования, как при устойчивых, так и при перемежающихся дуговых замыканиях.

Одним из известных способов обеспечения функционирования защиты при устойчивых замыканиях является искусственное увеличение активной составляющей тока замыкания [4]. Увеличение активной составляющей приводит к ухудшению условий гашения дуги в месте замыкания. В связи с этим в данной работе рассматриваются варианты алгоритмов формирования параметра реагирования защиты при увеличении активной составляющей тока не более чем на 10 % от суммарного емкостного тока сети.

Важным фактором при выполнении защиты, является учет влияния угловых погрешностей трансформаторов тока нулевой последовательности (ТТНП).

В данной работе рассматривается несколько вариантов формирования параметра реагирования. В качестве критерия для сравнения этих вариантов принимается максимально возможное значение собственного емкостного тока отдельной линии, при котором могут быть обеспечены условия чувствительности и селективности.

Объект исследования

Из данных полученных в [5], следует, что измеренное значение активной составляющей тока зависит от степени расстройки компенсации (ν), угловой погрешности ТТНП ($\Delta\psi$) и от отношения емкостного тока отдельной линии к суммарному емкостному току сети (K_{Σ}). Рассматриваются следующие возможные значения расстройки компенсации и угловой погрешности ТТНП:

1. Сеть оборудована дугогасящими реакторами (ДГР) с ручным управлением, расстройка компенсации изменяется в пределах $\pm 20\%$ ($\nu = -0,2 \div 0,2$);

2. Сеть оборудована автоматической настройкой компенсации $\nu = -0,05 \div 0,05$;
3. В сети установлены типовые ТТНП, которые могут иметь большие угловые погрешности, вплоть до 20° ($\Delta\psi = 0^\circ \div 20^\circ$);
4. В сети применяются ТТНП у которых гарантируется максимальная фазовая погрешность до 5° ($\Delta\psi = 0^\circ \div 5^\circ$).

Эти значения расстройки компенсации и угловой погрешности могут встречаться в различных сочетаниях, поэтому рассмотрены следующие случаи:

5. Ручное управление ДГР $\nu = -0,2 \div 0,2$ и $\Delta\psi = 0^\circ \div 20^\circ$;
6. Автоматическая настройка компенсации $\nu = -0,05 \div 0,05$ и $\Delta\psi = 0^\circ \div 20^\circ$;
7. Ручное управление ДГР $\nu = -0,2 \div 0,2$ и $\Delta\psi = 0^\circ \div 5^\circ$;
8. Автоматическая настройка компенсации $\nu = -0,05 \div 0,05$ и $\Delta\psi = 0^\circ \div 5^\circ$.

Защита, реагирующая на абсолютную величину тока нулевой последовательности

Выполнение защиты, реагирующей на абсолютную величину тока, является наиболее простым вариантом. При реагировании на модуль полного тока, угловая погрешность трансформаторов тока практически не влияет на измеряемую защитой величину. Это является достоинством такого варианта использования повышенной активной составляющей. При одинаковой уставке защиты на всех линиях условия чувствительности и селективности выполняются при емкостном токе линии не более 12,9 %.

Защита, реагирующая на абсолютную величину активной составляющей тока

При реагировании на абсолютную величину активной составляющей тока самым тяжелым для работы защиты является случай 1, когда погрешность ТТНП максимальна и имеет место расстройка компенсации $\pm 20\%$. С одинаковой уставкой на всех линиях максимально допустимое значение K_L составляет 10,2 %. Для защиты линии, например, с $K_L = 50\%$, что возможно на практике, необходимо применять ТТНП с угловой погрешностью не более 8° . В случае 3 ограничения на применение защиты по собственному емкостному току линии практически снимаются ($K_L \leq 92,6\%$).

Если сеть оборудована автоматической настройкой компенсации и ТТНП имеет угловые погрешности до 20° (случай 2) допустимое значение K_L возрастает почти в два раза и составляет 20,2 %. В этом случае, для обеспечения $K_L = 50\%$, может быть допущена погрешность до $9,4^\circ$. В случае 4 ограничения по величине K_L снимаются полностью.

Защита реагирующая на модуль суммы активного и доли реактивного токов

На основании анализа проведенного в [5], было выявлено, что при недокомпенсации угловая погрешность ТТНП снижает величину измеряемой активной составляющей тока, в то время как реактивная составляющая наоборот увеличивается. С учетом этого обстоятельства предложен следующий способ формирования параметра реагирования:

$$I = \left| (1 - \Delta I) \cdot I_{\text{Л}} \cdot \left(\cos \Psi_{\Sigma} + k \cdot \sin \Psi_{\Sigma} \right) \right|, \quad (1)$$

где $I_{\text{Л}}$ – полный ток нулевой последовательности линии, ΔI – токовая погрешность ТТНП, k – доля реактивной составляющей тока, используемая для формирования параметра срабатывания, $\Psi_{\Sigma} = \Psi_{\text{Л}} + \Delta\Psi$ – полный угол с учетом угловой погрешности ТТНП, $\Psi_{\text{Л}}$ – угол между током и напряжением нулевой последовательности.

В результате расчетов, было определено, что в формуле (1) оптимальным является значение коэффициента $k = 0,16$. В случае 1, максимально допустимое значение $K_{\text{Л}}$ составляет 22,5 % (более чем в два раза больше по сравнению с использованием только активной составляющей), а в случае 2 – 28,2 %.

Защита, реагирующая на модуль суммы активного тока и величины, пропорциональной синусу полного угла

Рассмотрен также вариант формирования параметра реагирования защиты, с учетом величины и знака синуса полного угла. Формирование сигнала происходит по закону (2).

$$I = \left| (1 - \Delta I) \cdot I_{\text{Л}} \cdot \cos(\Psi_{\Sigma}) + k \cdot \sin(\Psi_{\Sigma}) \right| \quad (2)$$

Для данного варианта, оптимальным является значение $k=0,04$. При этом для случая 1 максимально допустимое значение $K_{\text{Л}}$ составляет 20,7 %, а для случая 2 – 21,3 %.

Результаты расчетов по предлагаемым алгоритмам формирования параметра реагирования сведены в таблицу 1.

Табл. 1. Результаты расчетов

Вариант формирования параметра реагирования защиты		Абсолютная величина тока	Абсолютная величина активной составляющей тока	Модуль суммы активного и доли реактивного токов	Модуль суммы активного тока и величины пропорциональной синусу полного угла
Случаи					
1	$v = \pm 0,2$ $\Delta\Psi = 0^{\circ} \div 20^{\circ}$	$K_{\text{Л}} \leq 12,9 \%$	$K_{\text{Л}} \leq 10,2 \%$	$K_{\text{Л}} \leq 22,5 \%$	$K_{\text{Л}} \leq 20,7 \%$,
2	$v = \pm 0,05$ $\Delta\Psi = 0^{\circ} \div 20^{\circ}$		$K_{\text{Л}} \leq 20,2 \%$	$K_{\text{Л}} \leq 28,2 \%$	$K_{\text{Л}} \leq 21,3 \%$,
3	$v = \pm 0,2$ $\Delta\Psi = 0^{\circ} \div 5^{\circ}$		$K_{\text{Л}} \leq 92,6 \%$	-	-
4	$v = \pm 0,05$ $\Delta\Psi = 0^{\circ} \div 5^{\circ}$		$K_{\text{Л}} \leq 100 \%$	-	-

Выводы

Выполнение защиты, реагирующей на модуль тока нулевой последовательности или на его активную составляющую, при погрешности ТТНП до 20° и расстройке компенсации до 20 %, позволяет обеспечить условия чувстви-

тельности и селективности на линии с собственным емкостным током не более 10-12 %.

В условиях применения защиты, таких же как и в пункте 1 выводов, допустимое значение собственного емкостного тока линии увеличивается более чем в два раза при дополнительном использовании в алгоритме формирования параметра реагирования величины, пропорциональной реактивной составляющей тока или величины, пропорциональной синусу полного угла.

Радикальным средством повышения эффективности защиты является применение ТТНП с меньшей угловой погрешностью. При использовании только активной составляющей тока, снижение угловой погрешности до 8-9° позволяет обеспечить условия чувствительности и селективности во всех случаях на линиях с емкостным током до 50 %.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Лачугин, В.Ф. Опыт разработки импульсных защит от замыканий на землю // Изв. ВУЗов. Электромеханика. - 2012. - № 2. - С. 77-79.
2. Кискачи В.М. Определение поврежденного присоединения при замыканиях на землю в кабельных сетях / Кискачи В.М., Назаров Ю.Г. // Электрические станции. – 1965. – № 7.
3. Шуин В.А., Гусенков А.В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6-10 кВ // (Библиотечка электротехника). – М.: НТФ Энергопрогресс. – 2001. – Вып. 11(35). – 104 с.
4. Вильгейм Р., Уотерс М. Заземление нейтрали в высоковольтных системах. – М.: Госэнергоиздат, 1959. – 414 с
5. Гречушников В.В. Использование активной составляющей тока для обеспечения работы защиты от замыканий на землю в компенсированных сетях с учетом влияния угловых погрешностей трансформаторов тока [Электронный ресурс] = Active current for line-to-ground fault protection in resonant grounded systems using at list phase angle error of zero-phase sequence current transformers / В. В. Гречушников, С.Н. Пашковский// Электроэнергетика глазами молодежи: труды VIII международной научно-технической конференции, 02-06 октября 2017 года, Самара / Самарский Государственный Технический Университет» (СамГТУ). — 2017.

Научный руководитель: Р.А. Вайнштейн, д.т.н., профессор-консультант каф. ЭЭС ЭНИН ТПУ.