УДК 621.316.925

ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕХТРАНСФОРМАТОРНЫХ ФИЛЬТРОВ В СХЕМАХ ЗАЩИТЫ И СИГНАЛИЗАЦИИ ОТ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ 6-35 кВ

*Д.В. Батулько, К.И. Никитин*

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

*Аннотация:* в работе рассмотрены вопросы измерения тока нулевой последовательности в распределительных сетях 6-35 кВ, определены особенности применения фильтров тока нулевой последовательности, предложен способ совершенствования трехтрансформаторного фильтра тока нулевой последовательности.

*Ключевые слова:* однофазное замыкание на землю, фильтр тока нулевой последовательности, трансформатор тока нулевой последовательности, устройство для защиты от замыкания на землю.

**Актуальность.** Все виды релейных защит (РЗ) от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) реагируют на составляющие нулевой последовательности тока и напряжения [1].

Для получения сигналов тока (ТНП) и напряжения (ННП) нулевой последовательности используют специальные фильтры.

В качестве фильтра ННП, как правило, используются трехфазные пятистержневые трансформаторы напряжения с двумя вторичными обмотками, одна из которых соединена по схеме звезды, а другая по схеме разомкнутого треугольника [1, 2].

Для получения сигнала ТНП используются различные способы в зависимости от режима работы нейтрали сети.

В сетях с глухозаземленной нейтралью [1] для измерения ТНП используются трехтрансформаторные фильтры (рис. 1) нулевой последовательности (ФТНП)



Рис. 1. Подключение трехтрансформаторного фильтра нулевой последовательности

В сетях с глухозаземленной нейтралью ток однофазного короткого замыкания (КЗ) может иметь значение, значительно больше рабочего тока, при этом составляющая ТНП пропорционально велика, и для ее измерения используются трансформаторы тока (ТТ), которые устанавливаются в каждой фазе.

Для сетей с изолированной нейтралью применяются специальные (рис. 2.) трансформаторы тока нулевой последовательности (ТТНП).



Рис. 2. Подключение специального трансформатора тока нулевой последовательности

В сетях c изолированной нейтралью ТНП при ОЗЗ носит емкостный характер и по величине значительно меньше рабочего тока (величина зависит от суммарной длины сети). При этом для измерения ТНП преимущественно используют специальные ТТНП, а ТТ устанавливаются только в двух фазах - А и С.

Для защиты линий от ОЗЗ ТТНП выполняются кабельного типа (неразъемные или разъемные) либо специальной конструкции для установки в шкафы КРУ. Для защиты воздушных отходящих линий чаще всего используется кабельная вставка, на которой устанавливается ТТНП.

**Обоснование.** В последнее время в шкафах КРУ 6-10 кВ все чаще стали устанавливать по три ТТ (по одному в каждой фазе) и специальный ТТНП. Учитывая это, резонно предложить отказаться от ТТНП и использовать только трехтрансформаторный фильтр нулевой последовательности [3].

В ФТНП трансформаторы тока устанавливаются в трех фазах, одноименные зажимы вторичных обмоток соединяются параллельно, и к ним подключаются обмотки реле КА (рис. 1). Ток в реле появляется только при одно- и двухфазных КЗ на землю и равен геометрической сумме вторичных токов трех фаз. В результате неидентичности характеристик и погрешности ТТ через реле будет протекать ток небаланса [1].

Ток однофазного замыкания на землю зависит от напряжения сети и ее емкости относительно земли. Чем выше напряжение сети или больше емкость, тем больше ток замыкания на землю. В свою очередь емкость сети зависит от ее протяженности и типа сети. При одинаковой протяженности кабельные сети имеют значительно большую емкость, чем воздушные [4].

Номинальный ток обычных ТТ выбирают по току нагрузки линии, поэтому они имеют сравнительно большие коэффициенты трансформации. Вследствие этого вторичный ток замыкания на землю имеет очень малое значение. Так например, если ток замыкания на землю составляет 10 А, а ТТ имеют коэффициент трансформации 300/5, вторичный ток будет равен всего 0,16 А.

Для промышленных установок изготавливаются ТТразличных классов точности, при этом каждый класс точности характеризуется определенной погрешностью по току и углу [4]. Для защитных обмоток также нормируются классы точности 5Р и 10Р для которыхпогрешности составляют 1% (для 5Р) и 3% (для 10Р), а при кратности первичного тока, равной номинальной предельной кратности, погрешности не превысят 5% и 10% соответственно [5].

Учитывая класс точности ТТ можно оценить чувствительность защиты (сигнализации) от ОЗЗ при подключении к трехтрансформаторному ФТНП.

Согласно [6] для практических расчетов значений тока однофазного замыкания на землю воздушных *Iз,в(1****)*** и кабельных *Iз,к(1****)***линий пользуются упрощенными формулами

 (1)

 (2)

где *U* − линейное напряжение, кВ;

*L* − длина электрически связанной сети, км.

Коэффициенты трансформации применяемых трансформаторов тока могут иметь значения 100/5, 200/5, 300/5, 400/5, 500/5, 600/5 и др.

Абсолютную погрешность ТТ можно определить по формуле

**  (3)

где *Iном* – вернее значение диапазона измерения ТТ;

*γ* – погрешность ТТ, %.

Так, например, для трансформатора 100/5 с погрешностью 0,5 % значения тока на

выходе ТТ (согласно формуле 3) могут находиться в диапазоне ± 0,5 А.

При этом ток короткого замыкания для линии 6 кВ при длине электрически связанной сети 20 км по формуле 1 будет равен 0,3 А.

Таким образом, значения тока при ОЗЗ могут быть меньше погрешности ТТ. Особенно это актуально для сетей с воздушными линиями и изолированной нейтралью.

Данные по минимальной длине воздушных и кабельных линий, при которой целесообразно использовать трехтрансформаторные ФТНП приведены в работе [7].

Итак, недостатком трехтрансформаторного ФТНП является большой ток небаланса в режимах без ОЗЗ (рабочих, пуска и самозапуска электродвигателей, внешних междуфазных КЗ и т.д.), обусловленный неидентичностью характеристик намагничивания фазных трансформаторов тока, что не всегда позволяет получить необходимые для обеспечения требуемой чувствительности токовой защиты от ОЗЗ значения тока срабатывания. Особенно большие токи небаланса возникают при переходных процессах в первичной цепи.

В работе [3] приведены результаты моделирования и расчеты погрешности ТТ, приведены особенности, которые необходимо учитывать для защиты от ОЗЗ в сети с изолированной нейтралью при использовании ФТНП.

Для повышения эффективности использования ФТНП с устройством защиты от замыкания на землю может быть использован адаптивный фильтр тока нулевой последовательности ZA1 (рис. 3), который предназначен для уменьшения небаланса ФТНП и коррекции погрешности намагничивания трансформаторов тока.



Рисунок 3. Адаптивный фильтр тока нулевой

**Выводы:**

1. Применение трехтрансформаторных фильтров тока нулевой последовательности в распределительных сетях c изолированной нейтралью возможно, но для уменьшения небаланса при пусках, самозапусках, внешних КЗ необходимо подбирать трансформаторы тока с близкими характеристики намагничивания.

2. Для повышения эффективности использования трехтрансфоматорных фильтров в сетях с изолированной нейтралью предлагается использовать адаптивный фильтр.

3. Для разработки адаптивного фильтра необходимо выполнить расчеты и моделирования работы адаптивного фильтра с ТТ, а также провести лабораторные испытания адаптивного фильтра с ТТ и реле тока, выпускаемым промышленностью.

**Библиографический список**

1. Федосеев А.М., Федосеев М.А. Релейная защита электроэнергетических систем: Учеб.для вузов.-2-е изд., перераб. И доп.- М.: Энергоатомиздат, 1992. – 528 c.: ил.
2. Шуин В. А., Гусенков А. В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6 – 10 кВ. – М.: НТФ “Энергопрогресс” 104 c., ил. [Библиотечка электротехника; Вып.11(35)].
3. Никитин К.И., Бурчевский В.А., Черкай П.А., Петрова Е.В. Оценка возможности применения трехтрансформаторных фильтров в схемах защиты и сигнализации от замыкания на землю в сетях 6-35 кВ: Сборник научных трудов [текст]: вып.6/ [сост.В.А. Глушец]. – Омск: Иртышский филиал НГАВТ, 2008. – с.397 ISBN5-8119-0291-3.
4. Беркович М. А., Семенов В. А., Основы автоматики энергосистемы, М., 1968.
5. Гельфанд Я.С. Релейная защита распределительных сетей. − 2-е изд., перераб. и доп. − М.: Энергоатомиздат, 1987.
6. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учеб.для вузов по спец. “Электроснабжение” – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1991. – 496 с.: ил.
7. Батулько Д.В. Определение поврежденной воздушной линии с однофазным замыканием на землю в сети с изолированной нейтралью./ диссертация на соискание ученой степени к.т.н., Омск, 2007. – 162 с.