

**АНАЛИЗ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ 6-35 КВ**

*Приводится анализ существующих защит от однофазного замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью, а также их функциональные особенности и недостатки.*

*Ключевые слова: релейная защита, замыкание, однофазное замыкание, напряжение.*

**ANALYSIS OF RELAYING SYSTEMS WITH SINGLE-PHASE EARTH FAULTS IN NETWORKS WITH ISOLATED NEUTRAL OF 6-35 SQUARE METERS**

*There is given the analysis of existing protection against single-phase earth fault in networks with isolated neutral, as well as their features and drawbacks.*

*Keywords: relay protection circuit, single-phase circuit, the voltage.*

Однофазное замыкание на землю является наиболее частым видом повреждения в трехфазных электрических сетях всех классов напряжения. В электрических сетях 6-35 кВ, работающих, как правило, с изолированной или компенсированной нейтралью, значение токов однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) невелики, они не превышают 20÷30 А. Поэтому сети этих классов напряжения называют сетями с малым током замыкания на землю. Однако ОЗЗ представляют большую опасность для оборудования электрических сетей и для находящихся вблизи места ОЗЗ людей и животных, так как при наличии в сети ОЗЗ напряжения двух неповрежденных фаз по отношению к земле увеличиваются в  $\sqrt{3}$  раз (рис.2) и резко возрастает вероятность замыкания неповрежденной фазы на землю, т.е. увеличивается вероятность появления в сети двойного короткого замыкания на землю.

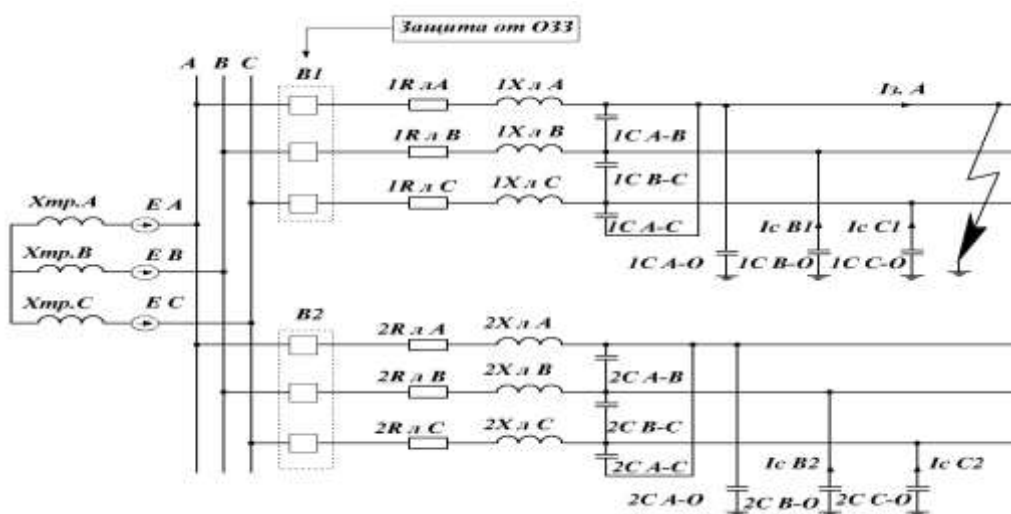


Рис.1.Схема замещения сети с изолированной нейтралью

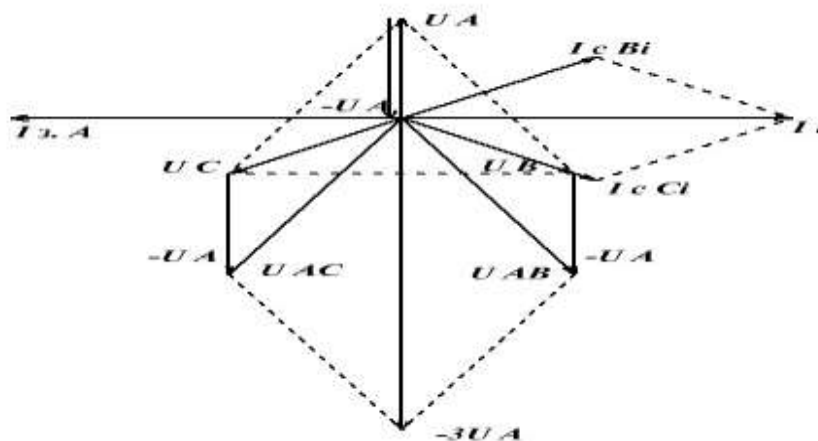


Рис.2. Векторная диаграмма токов и напряжений при ОЗЗ

В сетях с изолированной нейтралью селективное выявление линии электропередачи, в которой произошло замыкание на землю, часто оказывается непростой задачей.

В настоящее время применяются следующие основные разновидности защит от ОЗЗ [1]: -  
Защиты, измеряющие напряжение нулевой последовательности.

- Ненаправленные защиты, реагирующие на составляющие промышленной частоты тока и напряжения нулевой последовательности.
- Защиты, фиксирующие "наложенный" ток с частотой, отличной от промышленной.
- Защиты, реагирующие на высокочастотные составляющие в токе нулевой последовательности, возникающие естественным путем.
- Защиты, реагирующие на составляющие тока и напряжения нулевой последовательности в переходном процессе ОЗЗ.

Наибольшее распространение получили устройства защиты от ОЗЗ, реагирующие на гармонические составляющие тока ОЗЗ. Большинство из этих устройств использует высшие гармонические составляющие тока нулевой последовательности при ОЗЗ, например, устройство УСЗ-3М. Недосток этого устройства заключается в том, что поврежденная линия с ОЗЗ определяется не автоматически, на что тратится много времени. А также для защиты от ОЗЗ в компенсированных сетях 6-10 кВ используется низкочастотные составляющие тока нулевой последовательности при перемежающемся ОЗЗ, применяя полупроводниковые реле максимального тока, работающих в области низких частот, что требуется для такой защиты при устойчивых ОЗЗ специальный источник "наложенного" контрольного тока частотой 25 Гц в нейтраль трансформатора. В сетях 6-10 кВ, где не выведена нейтраль трансформатора, нет возможности использования этой защиты.

Защиты, измеряющие напряжение нулевой последовательности могут действовать на отключение линии с ОЗЗ в том случае, если от сборных шин подстанции отходит только одна линия - такие объекты встречаются. По сравнению с ненаправленными токовыми и другими защитами рассматриваемый вариант обладает существенными преимуществами: в напряжении нулевой последовательности содержится гораздо меньше высокочастотных составляющих и защита по напряжению нулевой последовательности лучше ведет себя, например, при перемежающихся и прерывистых ОЗЗ. Ей также не мешает наличие в сети дугогасящего реактора.

Одним из недостатков такой защиты при ее подключении к соединенной по схеме "разомкнутого треугольника" обмотке, установленного на сборных шинах трехфазного трансформатора напряжения (ТН), или группы однофазных является то, что она может работать неправильно при сгорании одного из предохранителей, установленных в первичных цепях этих измерительных трансформаторов, защита может отключить неповрежденный защищаемый объект. Обычно для блокирования срабатывания защиты в таком случае предусматривается реле максимального напряжения обратной

последовательности, подключенное к вторичной обмотке того же ТН, соединенной в “звезду”. Тогда при сгорании предохранителя защита блокируется и защищаемый объект на время восстановления исправности предохранителя остается без защиты от ОЗЗ. Если комплект защиты установлен на подстанции без постоянного обслуживания, то защита может надолго оказаться заблокированной.

При наличии нескольких присоединений такая защита может быть использована только в качестве неселективной сигнализации, т.е. сообщать о появлении в сети ОЗЗ без указания поврежденного присоединения. При этом поиск поврежденного присоединения обычно производится поочередным отключением присоединений по признаку исчезновения напряжения нулевой последовательности, что может вызвать значительные трудности и недоотпуск электроэнергии, а также вызывающие условия повреждения силового трансформатора во время обратного включения под нагрузку, который сопровождается явлением феррорезонанса. Кроме этого при длительном присутствии ОЗЗ в сети наблюдаются пробой изоляции в двигателях, что вызывало большие токи в месте повреждения и значительные затраты на ремонт. Часто возникающие в таких сетях при замыканиях на землю перемежающиеся дуги еще больше усложняют ситуацию. Одна из особенностей горения дуги в кабелях с бумажно- масляной изоляцией в том, что на начальной стадии ОЗЗ загорание дуги в таком кабеле приводит к разложению масляно-канифольной пропитки и выделению значительного количества газов, которые гасят возникшую дугу, после чего наступает бес- токовая пауза в токе нулевой последовательности. При этом из-за образовавшейся паузы в токе нулевой последовательности защита от ОЗЗ, имеющая выдержку времени, может отказать в срабатывании. Причина в том, что во время бестоковой паузы токовый орган и орган выдержки времени возвращается в исходное состояние.

Для предотвращения таких отказов защиты от ОЗЗ в некоторых импортных защитах имеется опция запоминания факта запуска защиты. Если срабатывал измерительный орган, то этот факт запоминается на время до 0,3 секунд (эту выдержку можно регулировать) и, при повторном срабатывании, защита работает на отключение. Для таких защит даже при наличии в сети заземляющего резистора рекомендуется принимать повышенное значение коэффициента броска  $K_{бр}$ . Но в настоящее время слабо изучен вопрос о том, каким должно быть значение  $K_{бр}$ . А также на реализацию эффективной ненаправленной токовой защиты влияет ток небаланса нулевой последовательности, появляющийся из-за неодинаковых характеристик трансформаторов тока, из которых собран фильтр тока нулевой последовательности. При возникновении в месте ОЗЗ большого переходного сопротивления, защита, отстроенная от собственного емкостного тока и тока небаланса трехтрансформаторного фильтра, может не сработать, так как в большинстве случаев в реальных сетях, даже при отсутствии ОЗЗ, по присоединениям постоянно или периодически протекают токи нулевой последовательности (небалансы)[2].

Направленная защита от ОЗЗ типа ЗЗП-1М предназначена для селективного отключения линий при ОЗЗ и может применяться в сетях с суммарным емкостным током не менее 0,2 А, как указывается в информации завода изготовителя. Однако, в связи с большой вероятностью возникновения ОЗЗ на ВЛ через переходное сопротивление и с учетом некоторого запаса по чувствительности, применение устройства ЗЗП-1М целесообразно в тех сетях, где минимальное значение суммарного емкостного тока, по крайней мере, в 2,5-3 раза выше.

Токовые цепи защиты ЗЗП-1М подключаются к кабельному трансформатору тока нулевой последовательности (ТТНП) типа ТЗЛ, в связи с чем, защищаемая воздушная линия должна иметь кабельную вставку (ввод). Это является недостатком защиты ЗЗП-1М, ограничивающим ее применение.

#### **ВЫВОДЫ:**

1. Выполнение селективной ненаправленной защиты в сетях напряжением 6-35 кВ возможно лишь при использовании токов нулевой последовательности присоединений,

так как поврежденное присоединение отличается от неповрежденных только амплитудами и фазами указанных токов.

2. Устройство защиты от ОЗЗ должно быть интеллектуальным, точнее оно должно контролировать не только емкостной ток сети, а еще первичную схему присоединения в режиме “on line” и, в зависимости от изменений первичной схемы, у защиты должна быть функция: ”Автоматическая самонастройка”.
3. Для предотвращения угловых погрешностей ТТНП, необходимо исследовать причины погрешностей и разработать преобразователь тока нулевой последовательности с наименьшими погрешностями.

**Литература:**

1. Алымкулов К. «Русско-Кыргызский словарь по энергетике». Бишкек-2011
  2. Кискачи В.М. «Защита от однофазных замыканий на землю ЗЗП-1». Описание, наладка и эксплуатация. Москва-1972.
  3. Шабад М.А. «Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей». Монография. Санкт-Петербург-2003г.
  4. Научный журнал «Новости электротехники» № 6 (42).
-