

ВЛИЯНИЕ СТАТИЧЕСКОГО СИНХРОННОГО КОМПЕНСАТОРА НА ДИСТАНЦИОННУЮ ЗАЩИТУ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Покацкий А.Ю.

научный руководитель канд. техн. наук Прохоров А.В.

Томский политехнический университет

Представлены результаты анализа особенностей измерения параметров срабатывания дистанционной защиты линии электропередачи, оснащенной устройством FACTS (Flexible AC Transmission System). В качестве рассматриваемого устройства служит статический синхронный компенсатор (СТАТКОМ). Цель изучения вопроса – оценка срабатывания дистанционной защиты (ДЗ) линии при двухфазных повреждениях при наличии СТАТКОМ. Наличие СТАТКОМ существенно влияет на измеряемое защитой сопротивление ввиду быстрого реагирования устройства на возмущения в электроэнергетической системе. Вследствие этого, требуется дополнительная корректировка параметров релейной защиты. Исследование проведено на примере двухмашинной энергосистемы с двухцепной линией электропередачи с нагрузкой на ПС Б. Двухмашинная система выбрана ввиду того, что одномашинный участок сети в реальной электроэнергетической системе встречается крайне редко. Моделирование проводится с использованием программного комплекса PSCAD/EMTDC (Power Systems Computer Aided Design / ElectroMagnetic Transients including DC).

Устройства FACTS представляют собой технологию, которая обеспечивает необходимую корректировку параметров энергосистемы для того, чтобы в полной мере задействовать ее потенциал. Данные устройства вызывают дополнительные сложности для релейной защиты и автоматики энергосистемы, в частности, защиты линий электропередачи.

СТАТКОМ – одно из ключевых устройств FACTS. Он может быть основан на использовании источника напряжения или источника тока. Поэтому в СТАТКОМ могут применяться преобразователь напряжения (ПН) или преобразователь тока (ПТ). Как и большинство устройств FACTS СТАТКОМ является тиристорно управляемым источником реактивной мощности, обеспечивающим поддержание заданного, значения напряжения посредством потребления или генерации реактивной мощности в точке подключения без использования дополнительных внешних реакторов или конденсаторных батарей большой мощности.

Дистанционная защита (ДЗ) широко используется для защиты линий электропередачи. Защита рассчитывает полное сопротивление между точкой включения реле и местом аварии. Полное сопротивление линии может быть изменено при нормальных и аварийных режимах вследствие наличия СТАТКОМ в линии.

На рис. 1 приведена исследуемая схема. Линии Л11, Л12, Л2 и Л4 имеют протяженность 100 км, Л3 имеет протяженность 200 км. Напряжение сети – 230 кВ. Полная мощность Системы 1 и Системы 2 составляет 70 МВ·А и 30 МВ·А соответственно. Мощность эквивалентной нагрузки – 116,27 МВ·А, $\cos \varphi=0,86$. Номинальная мощность СТАТКОМ – 300 Мвар. Компенсатор включен в сеть с целью поддержания напряжения на шинах подстанции Б. Модель указанной на рис.1 схемы изображена на рис. 2.

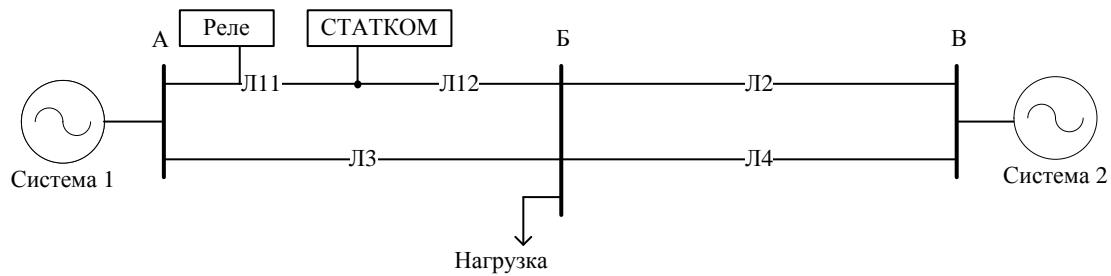


Рис. 1. Исследуемая схема

Одним из факторов, влияющих на сопротивление сети при наличии СТАТКОМ, это режим работы компенсатора. При генерации реактивной энергии в сеть СТАТКОМ увеличивает полное сопротивление, а при потреблении – уменьшает.

Уставка срабатывания ДЗ для линии, состоящей из Л11 и Л12, $Z_{CP}=83,6$ Ом, $R_{CP}=23,83$ Ом $X_{CP}=95,43$ Ом. В схеме, представленной на рис. 1, в точке $0,3 \cdot Л12$ происходит двухфазное КЗ фаз В и С. Значение уставки СТАТКОМ по напряжению – 1 о.е. Моделирование осуществляется с продолжительностью 3 с. Характеристики срабатывания реле сопротивления представлены на рис. 3. Значения сопротивления срабатывания, измеряемое с помощью реле при отсутствии СТАТКОМ составляет $Z_{CP}=83,22$ Ом, $R_{BC}=18,45$ Ом $X_{BC}=81,15$ Ом; при включении в сеть СТАТКОМ – $Z_{CP}=83,51$ Ом, $R_{BC}=20,48$ Ом $X_{BC}=80,96$ Ом. Характеристики срабатывания реле сопротивления при двухфазном КЗ фаз В и С в точке $0,6 \cdot Л12$, представлены на рис. 4. Значения сопротивления срабатывания, измеряемое с помощью реле при отсутствии СТАТКОМ составляет $Z_{CP}=83,28$ Ом, $R_{BC}=24,98$ Ом $X_{BC}=79,44$ Ом; при включении в сеть компенсатора – $Z_{CP}=121,13$ Ом, $R_{BC}=21,52$ Ом $X_{BC}=119,19$ Ом. Как видно из результатов, при КЗ в конце зоны действия дистанционной защиты ($0,8 \cdot Z_{Л}$) при включении в сеть статического компенсатора, защита не чувствует повреждение. При повреждениях в зоне действия ДЗ активное сопротивление увеличивается, индуктивное уменьшается.

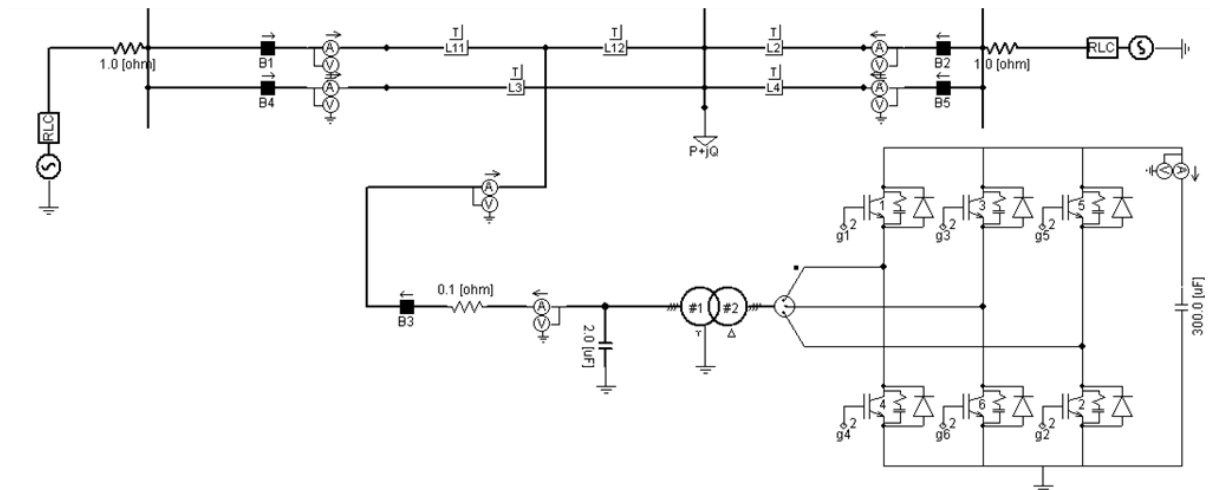


Рис. 2. Исследуемая схема в программе PSCAD/EMTDC при подключении СТАТКОМ между Л11 и Л12

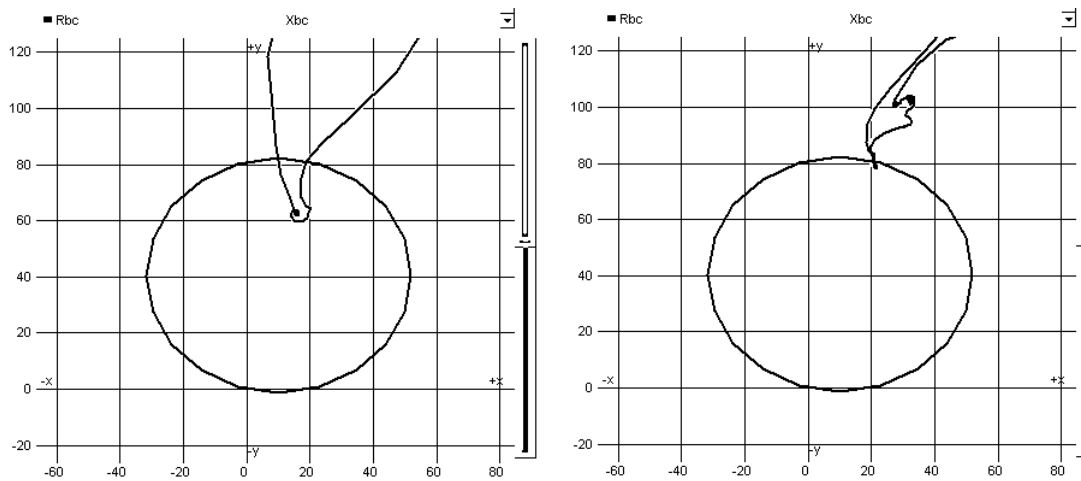


Рис. 3. Двухфазное КЗ фаз В и С в точке 0,3·Л12:

- а) характеристика срабатывания дистанционной защиты без СТАТКОМ;
 б) характеристика срабатывания дистанционной защиты при наличии СТАТКОМ

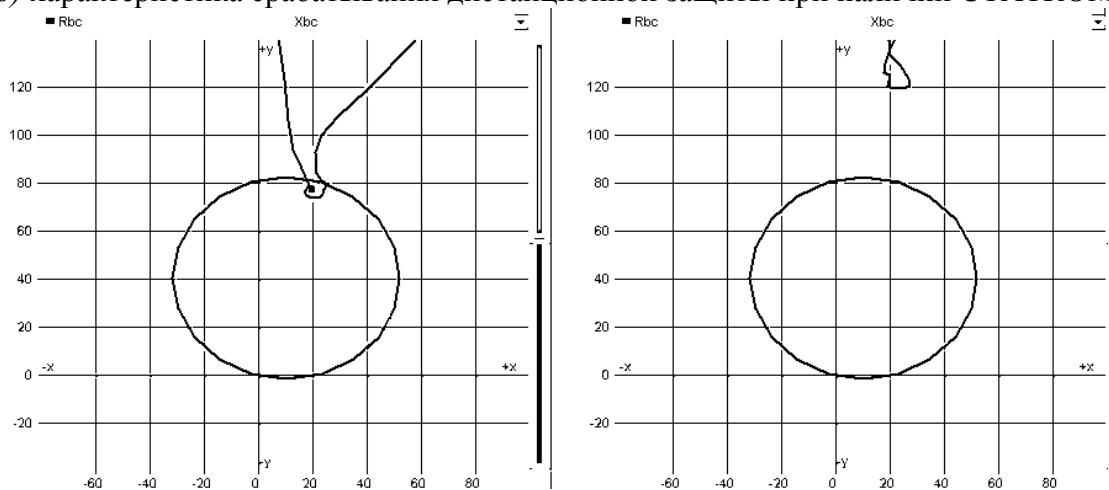


Рис. 4. Двухфазное КЗ фаз В и С в точке 0,6·Л12:

- а) характеристика срабатывания дистанционной защиты без СТАТКОМ;
 б) характеристика срабатывания дистанционной защиты при наличии СТАТКОМ

В соответствии с различными условиями работы энергосистемы, СТАТКОМ может иметь различные значения уставки по напряжению для достижения требуемого уровня напряжения. Эта величина также будет влиять на работу дистанционной защиты. Для анализа данного вопроса устанавливаются следующие значения $V_{ref} = 0,9; 1; 1,1; 1,2$ и моделируется двухфазное КЗ фаз В и С в точке 0,3·Л12. Результаты приведены на таблице ниже.

Таблица. Зависимость полного, активного и индуктивного сопротивлений, измеряемых органом ДЗ, от уставки по напряжению СТАТКОМ

Уставка по напряжению, V_{ref}	Активное сопротивление, R_{CP} , Ом	Индуктивное сопротивление, X_{CP} , Ом	Полное сопротивление, Z_{CP} , Ом
0,9	12,05	82,05	83,07
1	20,48	80,96	83,51
1,1	26,78	78,78	82,98
1,2	33,45	74,96	82,1

Анализ табличных данных показывает, что с увеличением уставки V_{ref} активное сопротивление увеличивается, индуктивное уменьшается. Полное сопротивление срабатывания с увеличением V_{ref} уменьшается.

Таким образом, в ходе исследования была получена учебная модель в программе PSCAD/EMTDC для исследования влияния статического синхронного компенсатора на дистанционную защиту линии электропередачи. Согласно всему выше изложенному, выявлено, что наличие СТАТКОМ в схеме существенно влияет на контролируемые параметры дистанционной защиты. Одним из решений является использование микропроцессорной техники, которая представляет неограниченные возможности объединения информации, в том числе разнесенной во времени и пространстве. Во времени смещены результаты наблюдения режимов, один из которых сменяет другой (текущий и предшествующий режимы); в пространстве – результаты двухстороннего наблюдения линии электропередачи или еще более общего многостороннего наблюдения электрической системы. Данная релейная защита носит название многомерной релейной защиты. В ряде работ рассматривается обучение многомерной защиты и в частности обучение дистанционной защиты.