

ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРЕДАЧИ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ПРОТИВОАВАРИЙНОМ УПРАВЛЕНИИ

К.А. Токарь, А.Н. Андреев

Исследовано влияние изменения режима работы передачи постоянного тока, выполненной на базе преобразователей напряжения, на статическую и динамическую устойчивость синхронного генератора. Установлено, что управление мощностью такой передачи во время динамического перехода, вызванного сильным аварийным возмущением, может быть использовано как эффективное средство сохранения устойчивости энергосистемы в комплексах АПНУ.

Ключевые слова: преобразователь напряжения, динамическая устойчивость, противоаварийная автоматика, передача постоянного тока.

В настоящее время, концепция развития электроэнергетических систем включает активное применение силовых элементов, выполненных на базе современных полупроводниковых приборов, таких как передачи постоянного тока (ППТ), устройства компенсации реактивной мощности. С развитием мощных объединений энергосистем все большее внимание обращается на вопросы эффективного управления перетоками мощности и обеспечения устойчивости параллельной работы ОЭС, входящих в энергообъединение. При наличии таких элементов, как ППТ, появляется возможность управления величиной перетока мощности между различными частями энергосистемы в случае возникновения различных аварийных возмущений.

На сегодняшний день помимо передач и вставок постоянного тока на преобразователях тока (Current Source Converters – CSC), все более широкое применение находят вставки и передачи постоянного тока на преобразователях напряжения (Voltage Source Converters – VSC). ППТ, выполненные на базе преобразователей напряжения на полностью управляемых вентиллях (ППТ-ПН), обладают широкими возможностями регулирования параметров электрического режима:

- практически безынерционное управление перетоком активной мощности, в том числе с возможностью осуществления реверса;
- управление реактивной мощностью с возможностью ее генерации в отличие от обычных ВПТ и ППТ.

Можно отметить высокую перспективность использования свойств ППТ-ПН в области автоматического противоаварийного управления. В качестве управляющего воздействия (УВ) для сохранения динамической устойчивости предполагается форсировка активной мощности, передаваемой по ППТ, производимая по условию недопущения возникновения асинхронного хода между частями энергосистемы, между которыми есть связь через ППТ-ПН.

Известно, что объем УВ противоаварийной автоматики, обеспечивающих сохранение динамической устойчивости, может быть определен из расчета электромеханического переходного процесса – взаимного движения центров инерции двух эквивалентных синхронных машин (СМ) – методом численного интегрирования. Уравнение относительного движения СМ представляет собой уравнение движения генератора относительно шин бесконечной мощности. Выбор УВ заключается в вычислении изменения величины механического момента турбины относительного движения и последующего распределения этой величины между эквивалентными СМ и каждым реальным генератором. Данный подход реализован в вычислительном алгоритме централизованной системы противоаварийной автоматики (ЦСПА) ОЭС Востока [1].

Применение ПН обеспечивает быстрое изменение активной мощности ППТ, что позволяет динамически влиять на величину площадки ускорения эквивалентного синхронного генератора. Таким образом, задача расчета дозировки управляющих воздействий сводится к разработке методики расчета мощности форсировки ППТ в двухмашинной эквивалентной схеме замещения энергосистемы.

Переходный процесс развития асинхронного хода в результате сильного возмущения можно представить в виде движения группы генераторов, выпадающих из синхронизма, относительно остальной энергосистемы. Полагая характеры изменения углов роторов таких генераторов примерно совпадающими между собой, можно принять к рассмотрению эквивалентный генератор, параметры которого определяются по методике [2]. И если одна из преобразовательных подстанций ППТ-ПН примыкает к такой

группе, то управление мощностью передачи может быть использовано для корректировки характера движения эквивалентного генератора относительно остальной энергосистемы.

Таким образом, в качестве основной модели при разработке методики расчета управляющих воздействий можно использовать модель двухмашинной энергосистемы типа «генератор – шины бесконечной мощности» с промежуточным присоединением преобразователя напряжения, схема замещения которой представлена на рис. 1.

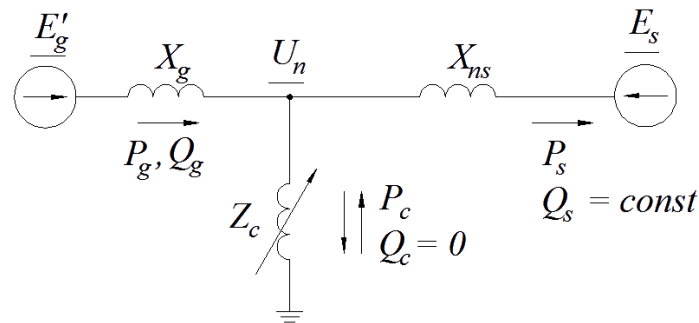


Рис. 1. Рассматриваемая схема замещения

В рассматриваемой схеме замещения, эквивалентный генератор представлен вектором переходной ЭДС E'_g за сопротивлением X_g , значения которых приведены к узлу примыкания ПН к энергосистеме – n . U_n – напряжение в рассматриваемом узле n . E_s – эквивалентная ЭДС энергосистемы. X_{ns} – взаимное сопротивление между рассматриваемым узлом и энергосистемой. Преобразователь представлен импедансом Z_c , определяемым его мощностью.

Примем следующие допущения:

- 1) переходная ЭДС эквивалентного генератора неизменна по своей величине во время электромеханического переходного процесса [2];
- 2) сопротивление элементов схемы принято чисто индуктивным, активные сопротивления и емкостные проводимости не учитываются [2];
- 3) преобразователь напряжения рассматривается как источник симметричного трехфазного напряжения основной частоты [3].

В данной схеме электрическая мощность P_g , выдаваемая генератором, определится по известному выражению [2]:

$$P_g = \frac{E'_g{}^2}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{E'_g E_s}{Z_{12}} \sin(\delta'_g - \alpha_{12}),$$

где Z_{11} – собственное сопротивление эквивалентного генератора; α_{11} – угол, дополняющий аргумент Z_{11} до 90° ; Z_{12} – взаимное сопротивление эквивалентного генератора и энергосистемы; δ'_g – угол между векторами E'_g и E_s ; α_{12} – угол, дополняющий аргумент Z_{12} до 90° .

Z_{11} и Z_{12} определяются по формулам:

$$\underline{Z}_{11} = \underline{Z}_g + \frac{\underline{Z}_c \underline{Z}_{ns}}{\underline{Z}_c + \underline{Z}_{ns}},$$

$$\underline{Z}_{12} = \underline{Z}_g + \underline{Z}_{ns} + \frac{\underline{Z}_g \underline{Z}_{ns}}{\underline{Z}_c}.$$

Изменение отбора мощности ПН влечет за собой изменение сопротивления Z_c , определяемого по формуле:

$$\underline{Z}_c = \frac{U_n^2}{P_c},$$

а также напряжения U_n , определяемого как:

$$\underline{U}_n = E_s + \frac{Q_s X_{ns}}{E_s} + j \frac{(P_T - P_c) X_{ns}}{E_s},$$

где Q_s – реактивная мощность, выдаваемая эквивалентным генератором в базисный узел, принята постоянной величиной; $P_T - P_c = P_s$ – активная мощность, выдаваемая эквивалентным генератором в базисный узел; P_T – эквивалентная мощность турбины генератора.

Используя вышеприведенные соотношения построим группу характеристик мощности эквивалентного синхронного генератора (рис. 2) в зависимости от режима работы ППТ (значения потребляемой преобразователем активной мощности).

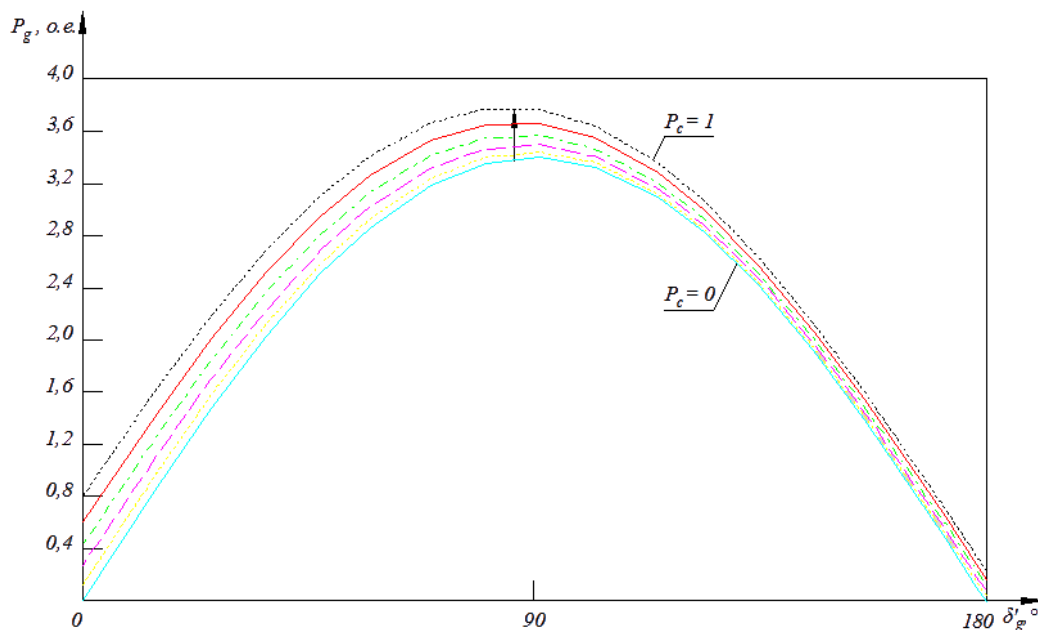


Рис. 2. Характеристики мощности эквивалентного СГ в зависимости от режима работы ППТ

Увеличение P_c позволяет повысить предел выдаваемой генератором мощности P_g . Для задачи рассмотрения динамической устойчивости генератора это означает, переход на новую характеристику мощности во время динамического перехода позволит скорректировать значения площадок ускорения и торможения эквивалентного генератора из условия сохранения динамической устойчивости.

Заключение. Управление мощностью ППТ-ПН во время динамического перехода, вызванного сильным аварийным возмущением, может быть использовано как эффективное средство сохранения устойчивости энергосистемы в комплексах АПНУ. В свою очередь достижение данной цели требует решения комплекса задач:

- 1) выбор алгоритма вычисления наиболее оптимального объема УВ для изменения уставки ППТ-ПН по мощности;
- 2) учет в данном алгоритме технологических ограничений ПН, таких как допустимая перегрузочная способность вентилях по току, необходимость поддержания напряжения на емкости преобразователя со стороны постоянного тока и т.п.

Библиографический список

1. Лисицын, А.А. Алгоритм выбора управляющих воздействий по условиям динамической устойчивости / А.А. Лисицын, М.А. Эдлин // Известия НТЦ ЕЭС. – 2013. – № 1 (68). – С. 41-47.
2. Жданов, П.С. Вопросы устойчивости электрических систем / П.С. Жданов. – М.: Энергия, 1979. – 456 с.
3. Jovcic, D. High Voltage Direct Current Transmission. Converters, Systems And DC Grids / D. Jovcic, K. Ahmed. – UK, Wiley, 2015. – 432 p.

[К содержанию](#)