

Рис. 2. Современные виды стабильности энергосистем

Литература

1. Гельман М. В., Дудкин М. М., Преображенский К. А. Преобразовательная техника, Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ. – 2009.
2. Мелешкин Г.А., Меркурьев Г.В. Устойчивость энергосистем. – 1 изд. – Санкт-Петербург: НОУ «Центр подготовки кадров энергетики», 2006. – 369 с.
3. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. – Санкт-Петербург: Энергия, 1970. – 520 с.
4. Эрнст А.Д. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах: курс лекций. – Нижневартовск: Изд-во НГГУ, 2012. – 199 с.
5. Kundur. P. Power System Stability and Control. - New-York: McGraw-Hill, 1993. – 979 с.

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ИНЕРЦИИ НА ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИ УДАЛЕННОМ ЭНЕРГОРАЙОНЕ

Радько П.П.

Научный руководитель доцент Н.Ю. Рубан

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Введение. Из-за глобальной тенденции перехода к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) общесистемное значение постоянной инерции уменьшается по мере внедрения солнечных и ветряных электростанций [1-3]. В частности, солнечные электростанции (СЭС), которые в своем устройстве не имеют вращающихся элементов, обладают нулевой постоянной инерции [4, 5]. При значительной доле ВИЭ в системе может наблюдаться чрезвычайно высокая скорость изменения частоты.

Помимо прочего энергосистемы с возобновляемыми источниками могут отличаться и другой характеристикой – неоднородностью инерции. Она проявляется, когда постоянная инерции существенно отличается по значению между энергорайонами одной энергосистемы. В данной работе проведено исследование закономерностей, которые могут наблюдаться при интеграции ВИЭ в электрически удаленные энергорайоны.

Рассматриваемая схема. Исследование проводится в модели энергосистемы, базирующейся на учебной модели IEEE 9 bus и приведенной на рисунке 1. Рассматриваемую энергосистему можно условно поделить на два энергорайона: первый включает в себя электростанции с синхронными генераторами (СГ) Г1 и Г2 и нагрузками в узлах 7, 9, 6; второй – Г3, солнечную электростанцию и нагрузку в узле 4. Линии 7-5 и 5-4 отключены для моделирования слабой связи между энергорайонами. Затем, после окончания всех пусковых процессов (пуска генераторов, отключения системы от шины бесконечной мощности) моделируется наброс активной нагрузки в узле 4 величиной в 6,2 % от суммарной.

Предложенная схема опирается еще и на практический опыт комбинированного применения ВИЭ и СГ. Крупные производства или месторождения зачастую являются удаленными от основной электрической сети, за счет чего между этими энергорайонами выстраивается слабая связь. Для того, чтобы минимизировать потери в длинных линиях вблизи объекта устанавливаются синхронные генераторы, способные тем самым обеспечить энергией удаленные промышленные объекты. Затем, за счет увеличения добываемых или производственных объемов, а также модернизации технологии встает вопрос об увеличении вырабатываемой локальной мощности. И, благодаря глобальной тенденции перехода к ВИЭ именно такие установки используются в качестве дополнительных питающих источников. Таким образом и выстраивается комбинированная работа ВИЭ и традиционных генераторов на местах, имеющих с основной сетью слабую связь.

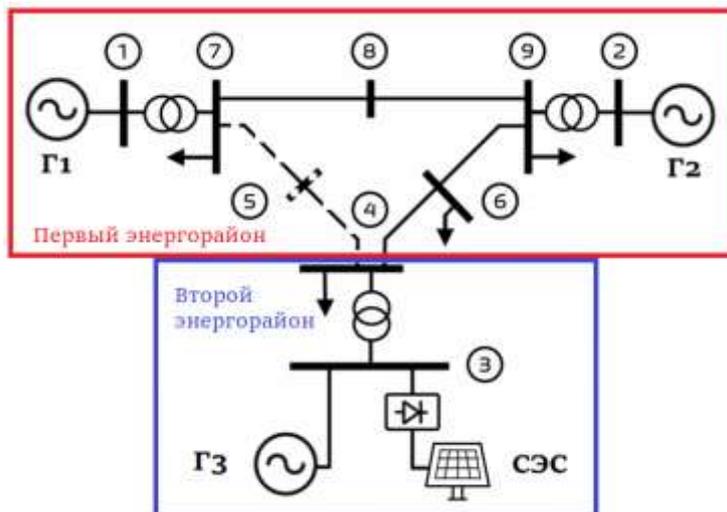


Рис. 1. Схема исследуемой энергосистемы

Система фазовой автоподстройки частоты. В данной работе на солнечной электростанции установлены сетевые инверторы, которые не позволяют ей вносить вклад в регулирование частоты, т.е. выдается постоянный объем мощности с такой же частотой, какая присутствует в сети. Такие инверторы называют «ведомыми сетью». В свою очередь «считывание» частоты и соответствующая выдача осуществляется с помощью системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) [6]. Эти системы также вносят свой вклад в образование неоднородности инерции.

Результаты экспериментов. В случае, если используются неоптимизированные под конкретные схемно-режимные условия настройки средств ФАПЧ в системе могут наблюдаться низкочастотные незатухающие колебания частоты, с наибольшей амплитудой непосредственно рядом с СЭС (рис. 2). Различие в осциллограммах частот между узлами говорит о формировании неоднородной инерции: из-за того, что энергорайон с СЭС характеризуется меньшей постоянной инерции частота на соответствующем узле изменяется стремительней и существенней, особенно сразу после возмущения. Предельное отклонение частоты в узле 3 в 4,7 раз больше, чем в узле 1.

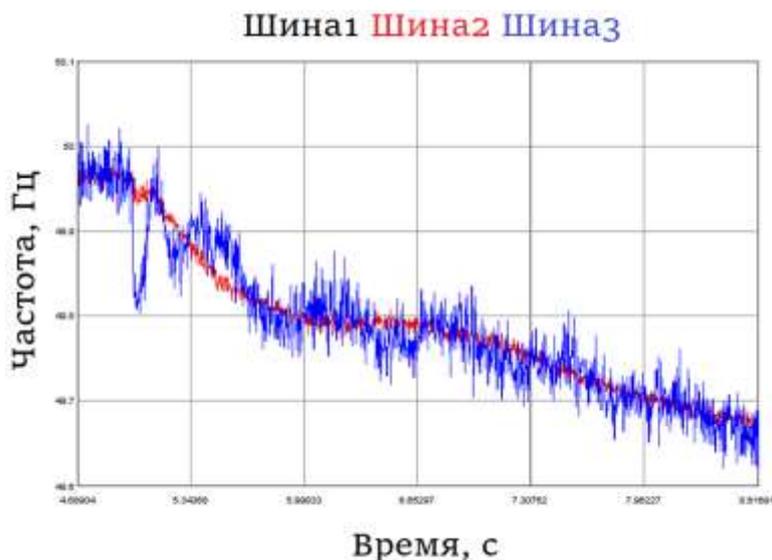


Рис. 2. Осциллограммы частоты в различных узлах энергосистемы при ненастроенной ФАПЧ

С другой стороны, если настройки ФАПЧ будут оптимизированы, то колебания наблюдаться перестанут, ровно также, как и неоднородность инерции. Однако в связи с тем, что рядом с СЭС также установлен синхронный генератор Г3, имеет смысл сравнить его угловую скорость с угловой скоростью генераторов Г1 и Г2.

Рисунок 3 демонстрирует, что несмотря на то, что при настроенной системе ФАПЧ отличия частоты разных узлов незначительны, неоднородность инерции продолжает влиять на переходный процесс в случае установки рядом с СЭС синхронного генератора. Из-за меньшей постоянной инерции энергорайона скорость вращения Г3 сильнее падает после наброса нагрузки. В дальнейшем это приводит к возникновению затухающих низкочастотных колебаний.

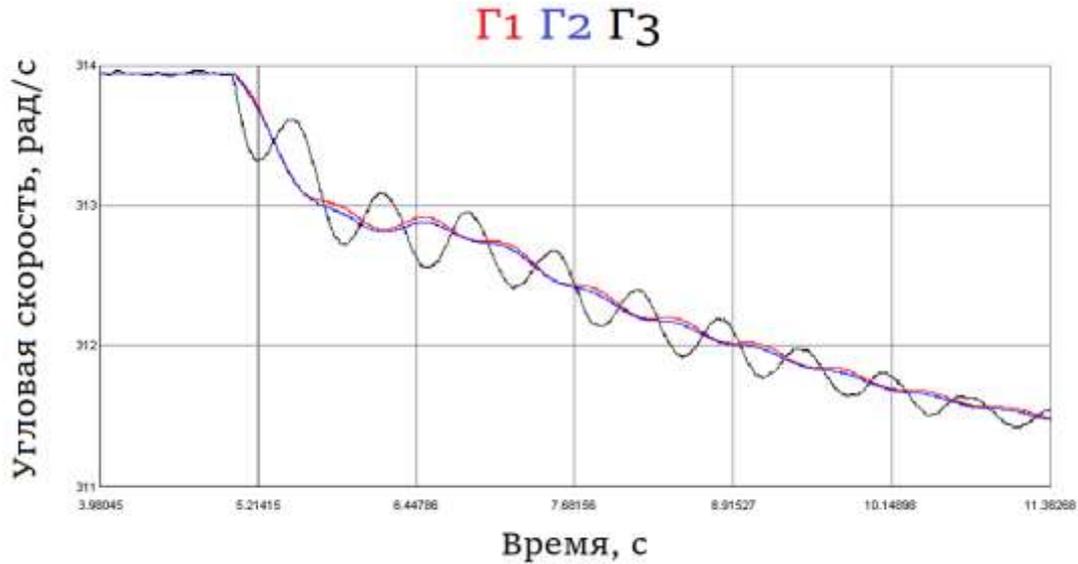


Рис. 3. Осциллограммы угловой скорости ротора генераторов системы

Выводы. В энергосистеме с возобновляемыми источниками при использовании систем ФАПЧ с неоптимизированными под схемно-режимные условия настройками будет наблюдаться значительная неоднородность инерции, проявляющаяся в различном изменении частоты между узлами системы. В случае оптимизированных настроек ФАПЧ неоднородность инерции будет наблюдаться в значительно меньшей степени, однако ее влияние можно заметить в работе ближайших синхронных генераторов, если таковые установлены. Данные зависимости важны для правильной настройки средств автоматического регулирования как традиционных электрических машин, так и систем управления силовыми преобразователями, ответственными за работу возобновляемых источников энергии.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-00204.

Литература

1. Miller, N., Shao, M., Pajic, S., et al.: Eastern frequency response study. National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO, United States, 2013
2. Miller, N., Shao, M., Pajic, S., et al. / Western wind and solar integration study phase 3—frequency response and transient stability // National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO, United States; GE Energy Management, Schenectady, NY, United States, December 2014
3. Hong Q., Asif Uddin Khan M., Henderson C., Egea-Álvarez A., Tzelepis D., Booth C. / Addressing frequency control challenges in future low-inertia power systems: A Great Britain perspective // Engineering (2021), 10.1016/J.ENG.2021.06.005
4. Yan R., Saha T.K., Modi N., al Masood N., Mosadeghy M. / The combined effects of high penetration of wind and PV on power system frequency response // Appl. Energy, 145 (2015), pp. 320-330, 10.1016/J.APENERGY.2015.02.044
5. Tzelepis, D., Dyško, A., Booth, C., 2016. / Performance of loss-of-mains detection in multi-generator power islands // In: IET Conference Publications, 2016, No. CP671. <http://dx.doi.org/10.1049/CP.2016.0066>
6. Абрамов Д.В. / Системы фазовой автоподстройки частоты // Сборник работ 65-ой научной конференции студентов и аспирантов Белорусского государственного университета в 3 ч. ч.2 – БГУ, 2008 184-187 с. ISBN 985-445-369-3

ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД В МОДЕЛИРОВАНИИ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Разживин И.А., Бай Ю.Д.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Введение. Системы накопления электроэнергии (СНЭЭ) являются быстро развивающимися высокотехнологичными устройствами современных электроэнергетических систем (ЭЭС). В том числе активно внедряются в автономные энергообъединения нефтяных и газовых промыслов. СНЭЭ помимо резервирующих функций открывают принципиально новые возможности в управлении режимами электроэнергетических систем. К примеру, современные СНЭЭ могут применяться не только как источники бесперебойного питания или в выравнивании суточных графиков нагрузки, а в случае автономных энергосистем участвовать еще и в оптимизации работы генераторов, снижая расход органического топлива, но и использоваться в качестве инструмента противоаварийного управления [1]. Ввиду тенденций развития электрохимических технологий СНЭЭ, удешевления материалов и значительных инвестиций в отрасль перспективными технологиями в развитии СНЭЭ большой мощности являются литий-ионные аккумуляторные батареи. Такие СНЭЭ способны в виду своего быстрогодействия эффективно выполнять функции устройств противоаварийной автоматики: предотвращать нарушение устойчивости,