

России сосредоточено в регионах с потенциалом возобновляемых источников энергии, можно разработать различные варианты объединения компаний из разных секторов для снижения производственных затрат. Снижение себестоимости добычи, так как затраты на энергию составляют большую часть себестоимости добычи нефти [1].

Возобновляемые источники энергии являются перспективным направлением с большим потенциалом не только для применения в отрасли нефти и газа, но, и для мира в целом. Поэтому нельзя отмахиваться от исследований и разработок в данной области, ссылаясь на то, что «традиционная энергетика лучше». С данным фактом никто не станет спорить. Однако, в не столь далеком будущем нефть и газ во всем мире иссякнут. Неужели только тогда начнется поиск альтернатив? Необходимо уже сейчас начинать постепенно использовать возобновляемые источники энергии для решения различных задач по энергоснабжению. Особенно эффективно будет применение данного вида энергетике в изолированных и труднодоступных районах, не подключенных к основной энергосистеме. Возобновляемые источники энергии открывают возможности для их комбинированного использования с уже проверенными энергоносителями или совмещая различные виды «зеленой» энергии, что позволит плавно понизить зависимость от традиционных источников энергии, сократить выбросы парниковых газов и снизить затраты на обслуживание и эксплуатацию нефтегазовых объектов.

Литература

1. Альтернативные источники энергии в проектировании электроснабжения: преимущества и ограничения использования возобновляемых источников. [Электронный ресурс] - <https://peak-leds.ru/blog-alternativnye-istochniki-energii-v-proektirovanii-elektrosnabzheniya-preimushchestva-i-ogranicheniya-ispolzovaniya-vozobnovlyaemyh-istochnikov/>
2. Биомасса в возобновляемой энергетике [Электронный ресурс] - <https://www.renwex.ru/ru/ii/biomassa/>
3. Ветроэнергетика. Википедия [Электронный ресурс] - <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ветроэнергетика>
4. Волович Г. И. и др. О развитии средств автоматизации в энергетике с использованием возобновляемых источников энергии // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 9 (131). – С. 59-64.
5. Гарипов М. Г. Ветроэнергетика // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16. – № 2. – С. 64-66.
6. Гидроэнергетика в возобновляемой энергетике [Электронный ресурс] - <https://www.renwex.ru/ru/ii/gidroehtnergetika/>
7. Дурдыев С., Гурдов М. Экологические преимущества ветровой энергетике // Всемирный ученый. – 2023. – Т. 1. – № 8. – С. 117-122.
8. Жамбалов Ж. Б. Гидроэнергетика как отрасль нового поколения // Мировая наука. – 2020. – № 1 (34). – С. 188-190.
9. Каршибоев Ш. А., Муртазин Э. Р., Файзуллаев М. Использование солнечной энергии // Экономика и социум. – 2023. – № 4-1 (107). – С. 678-681.
1. Шагеев А., Халикова М. Анализ тенденции развития сектора возобновляемой энергетике в российских нефтяных компаниях // Вестник экономики и менеджмента. – 2022. – № 1. – С. 12-20.
2. Шаимова А. М. и др. Использование биомассы-радикальное решение проблем экологии и энергетике // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 5-6. – С. 175-182.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЛОКА СИНТЕТИЧЕСКОЙ ИНЕРЦИИ В СОСТАВЕ ВИРТУАЛЬНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Радько П.П., Малькова Я.Ю.

Научный руководитель доцент А.А. Суворов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Введение

Тенденция к переходу к возобновляемым источникам энергии наблюдается во всем мире, в том числе и в России. Согласно программе ДПМ ВИЭ 2.0 [3], количество введенных в эксплуатацию объектов альтернативной генерации будет увеличиваться вплоть до 2035-го года. Однако такая модернизация энергосистемы, сопровождается рядом проблем, связанных с уменьшением постоянной инерции и ограниченного участия возобновляемых источников в процессе регулирования частоты и напряжения.

Проблема усугубляется тем фактом, что в России много энергорайонов являются удаленными, а то и вовсе изолированными от Единой электроэнергетической системы. Как правило такая ситуация характерна для крупных промышленных комплексов или удаленных месторождений. Соответственно, использование возобновляемых источников в таких энергорайонах будет сопровождаться резкими изменениями режимных параметров после возмущений, что, в свою очередь, может привести к тяжелым авариям.

Решением описанной проблемы может служить система автоматического управления (САУ), которая позволяет возобновляемым источникам не только эффективно преобразовывать энергию ветра, солнца и т.д. в электрическую, но и участвовать в процессе регулирования режимных параметров в значительно большей мере. Наиболее актуальными и исследуемыми системами управления, позволяющими этого добиться, являются виртуальный синхронный генератор [5] и традиционная САУ с блоком синтетической инерции [4].

Виртуальный синхронный генератор (ВСГ) является сложной САУ, имитирующей традиционную синхронную машину на программно-аппаратном уровне, в то время как блок синтетической инерции (СИ) позволяет электростанции реагировать на изменение частоты в упрощенном виде.

Данная работа посвящена исследованию влиянию блока синтетической инерции на протекание переходных процессов в случае совместной работы с виртуальным синхронным генератором.

Рассматриваемая схема

Исследуемая модель представляет собой одномашинную систему, приведенную на рис. 1. Шина 4 представлена шиной бесконечной мощности (ШБМ). Данное решение обусловлено тем, что при моделировании таких регуляторов, как системы автоматического регулирования частоты и мощности (АРЧМ) и автоматического регулирования возбуждения (АРВ) возможно появление дополнительных колебаний, связанных именно с их работой. Также стоит отметить, что линия Л1 значительно длиннее линии Л2. Это приводит к тому, что при работе обеих линий сеть считается сильной, а при отключенной Л2 сеть становится слабой [1, 2]. Для работы блока синтетической инерции фотоэлектрическая установка разгружена на 10 %. Исследование выполнено в программно-аппаратной среде RSCAD/RTDS.

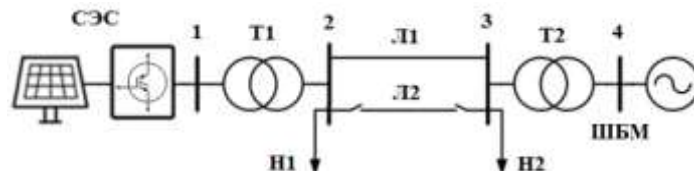


Рис. 1. Схема исследуемой энергосистемы

Результаты экспериментов при объединении ВСГ и СИ

На рисунке 2 представлены осциллограммы частоты после увеличения нагрузки в сильной сети на 10 МВт. Данное изменение нагрузки является значительным для данного энергорайона, поскольку до возмущения СЭС вырабатывает 8,9 МВт. Из осциллограмм видно, что скорость изменения частоты при внедрении блока синтетической инерции не изменилась, предельные отклонения частоты в первом и во втором полупериоде сократились, а демпфирующие свойства станции ухудшились. Данные результаты можно объяснить инертностью системы управления: из-за аperiodических звеньев сигнал на увеличении мощности после появления небаланса приходит не сразу, что теоретически можно решить более точной настройкой блока СИ.

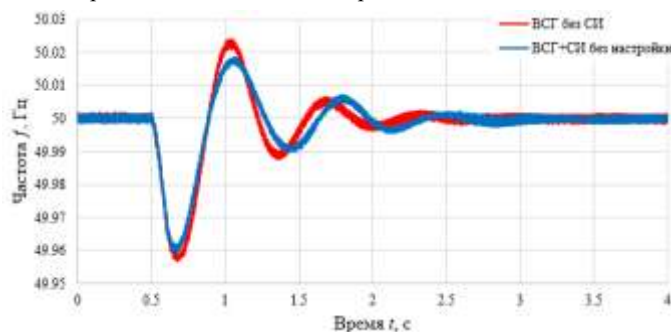


Рис. 2. Осциллограммы частоты после изменения нагрузки в сильной сети

Осциллограммы частоты после наброса нагрузки в слабой сети приведены на рис. 3. В данных условиях осуществлялся наброс нагрузки, равный 4 МВт, поскольку наброс в 10 МВт выводит систему из устойчивого состояния при слабой сети. Результаты эксперимента аналогичны предыдущему – внедрение блока СИ позволяет добиться сокращения предельного отклонения частоты, с сопутствующим ухудшением демпфирующих характеристик.

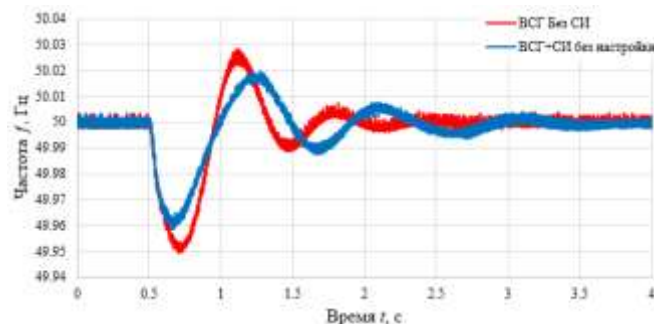


Рис. 3. Осциллограммы частоты после изменения нагрузки в слабой сети

Количественное сравнение результатов применения ВСГ и ВСГ+СИ в сильных и слабых сетях приведено в таблице 1. Анализ проводится с помощью интегрального показателя качества I (формула 1), оценивающего среднее отклонение от номинальной частоты на протяжении всего переходного процесса (чем значения показателя меньше, тем лучше).

$$I = \int_{t=0,5}^{T=t_{\text{зад}}=4} t^2 \cdot x^2(t) dt, \quad (1)$$

где $x(t)$ – отклонение величины частоты от его установившегося значения после возмущения; t – момент начала переходного процесса; $t_{зад}$ – момент окончания переходного процесса; I – квадратичный интегральный показатель по квадрату времени и квадрату ошибки.

Таблица

Сравнение влияния ВСГ и ВСГ+СИ на переходный процесс

Плотность сети \ Система управления	$I(\text{ВСГ}), \text{о. е.}$	$I(\text{ВСГ+СИ}), \text{о. е.}$
		Улучшение относительно ВСГ, %
Сильная сеть	$8,99 \cdot 10^{-5}$	$7,49 \cdot 10^{-5}$
		16,68
Слабая сеть	$14,26 \cdot 10^{-5}$	$12,54 \cdot 10^{-5}$
		12,09

Выводы

Применение блока синтетической инерции в составе виртуального синхронного генератора благоприятно влияет на динамическую устойчивость энергосистемы, сокращая предельное отклонение частоты после возмущений как в сильной, так и в слабой сети. Однако неправильная или недостаточная настройка блока СИ может привести к ухудшению демпфирующих свойств СЭС и ее системы управления.

В дальнейшем планируется оптимизировать настройки блока СИ опытным путем, а также воссоздать математическую модель системы управления в пространстве состояний, что позволит находить влияние большего количества отдельных переменных (в том числе и коэффициентов ВСГ) на переходный процесс.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00004.

Литература

1. Hatziairgiyriou N. et al. Definition and classification of power system stability–revisited & extended // IEEE Transactions on Power Systems. – 2020. – Т. 36. – № 4. – С. 3271-3281.
2. Yang D. et al. Adaptive reactive power control of PV power plants for improved power transfer capability under ultra-weak grid conditions // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2017. – Т. 10. – № 2. – С. 1269-1279.
3. Бутузов, В. А. Возобновляемая энергетика России: результаты 2020 г / В. А. Бутузов // Энергия единой сети. – 2022. – № 1(62). – С. 42-51. – EDN TBYYQH.
4. Разживин И. А. и др. Исследование влияния синтетической инерции на динамическую устойчивость электроэнергетических систем // Электричество. – 2022. – № 8. – С. 16-26.
5. Суворов А. А. и др. Система автоматического управления силовым преобразователем на основе свободно конфигурируемой структуры виртуального синхронного генератора // Электричество. – 2022. – № 4. – С. 15-26.

МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ БАЛАНСА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ Рец В.В.

Научный руководитель доцент Прохоров А.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Надежная работа электроэнергетической системы (ЭЭС) обеспечивается за счет поддержания перетоков активной мощности внутри границ пропускной способности электрической сети [8]. Для этого назначаются группы линий - контролируемые сечения, для которых по специальной методике оцениваются максимально допустимые значения перетоков активной мощности (МДП) [5]. МДП зависят от топологии сети и других факторов, характеризующих схемно-режимную ситуацию (СРС) и степень значимости которых изменяется в процессе функционирования ЭЭС. Поэтому для обеспечения наиболее актуальной информации о значениях МДП в настоящее время применяется информационно-управляющая система «Система мониторинга запасов устойчивости (ИУС СМЗУ)» [3]. Это способствует более эффективному использованию существующей электросетевой инфраструктуры, так как зачастую фактический режим энергосистемы характеризуется меньшим числом отключенных в ремонт или аварий оборудования электрических станций и подстанций, что приводит к увеличению МДП в КС относительно значений, рассчитанных технологом вручную на этапе планирования электроэнергетического режима.

Переток активной мощности в КС является режимным параметром, который принято регулировать и ограничивать относительно МДП путем изменения баланса активной мощности [4, 9]. При этом возможно управлять не только значением перетока активной мощности, но и величиной МДП, используя регулировочный диапазон средств регулирования напряжения (СРН) на загрузку или разгрузку в зависимости от определяющего МДП критерия. Для этого в [6, 7] предложен метод управления напряжением и реактивной мощностью, максимизирующий пропускную способность КС. Он предполагает расчет управляющих воздействий (УВ) на СРН для достижения максимального значения пропускной способности электрической сети. Увеличение величины МДП при этом повышает эффективность работы рыночных механизмов торговли электроэнергией, а также снижает риски нарушения электроснабжения потребителей в послеаварийных режимах.