

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНЕРЦИОННОГО ОТКЛИКА ПО ЧАСТОТЕ

Мицкевич Р.В., Рубан Н.Ю.

Научный руководитель доцент Н.Ю. Рубан

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия.

В настоящее время одним из актуальных векторов развития энергетических систем является интеграция распределенной генерации и электростанций на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Ежегодное увеличение количества проектов по внедрению объектов ВИЭ обусловлено стремлением человечества уменьшить углеродный след своей деятельности, развитием технологий и экономической привлекательности таких проектов. Для локальных энергорайонов генерация ВИЭ занимает значительную роль в электроснабжении потребителей. Традиционная генерация вынуждена подстраивать свои режимы работы под стохастический характер выработки ВИЭ, обеспечивать маневренность и резерв регулирования.

В данной работе рассматриваются энергоустановки ВИЭ применяющие в своей топологии связи с сетью энергосистемы силовые преобразователи на базе силовой электроники. Такими установками являются фотоэлектрические электростанции (ФЭС) и ветряные электростанции (ВЭС) типа 3 и 4 [2, 4]. Особенностью динамических характеристик системы связи объектов ВИЭ с сетью энергосистемы является отсутствие инерции, что приводит к эквивалентному снижению инерции всего энергорайона. Что в свою очередь приводит к уменьшению запаса устойчивости энергосистемы и усложнению задач управления режимными параметрами энергорайона в случае возникновения возмущений и аномальных режимов. В частности, увеличивается предельное отклонение частоты и скорости ее изменения [1].

В данной работе производится оценка применимости алгоритмов синтетической инерции для различных типов ВИЭ. Работа алгоритмов аналогична для ВИЭ, подключаемых к сети через силовые преобразователи. Инерционный отклик обеспечивается вводом управляющего воздействия в систему регулирования широтно-импульсной модуляции преобразователей для обеспечения дополнительной выдачи активной составляющей тока в сеть энергосистемы. Обеспечивается кратковременное высвобождение накопленной дополнительной активной мощности пропорциональное изменению частоты в энергосистеме и настройкам регуляторов систем управления [4]. Входной величиной регулятора является сигнал угловой частоты сети, определяется ее отклонение от номинальной уставки и скорость изменения. Параметры регуляторов рассчитываются индивидуально для каждой энергосистемы, для отстройки от нестабильности, вызванной ограниченной полосой пропускания df/dt . Изменение коэффициентов K_{in} и K_d позволяет варьировать величину отклика мощности и влиять на характеристики процесса снижения частоты. Структурная схема модуля синтетической инерции представлена на рисунке 1.

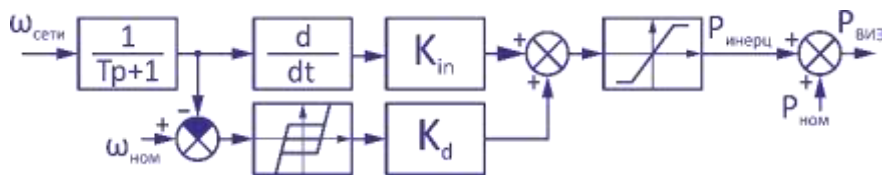


Рис. 1. Структурная схема модуля синтетической инерции

Для проведения расчетных опытов была создана расчетная модель изолированного энергорайона, состоящего из трех моделей электростанций, две из которых представлены моделями гидроэлектростанции (ГЭС) с классическими агрегатами и одной моделью электростанции на базе ВИЭ. Узлы электростанций и нагрузки объединены кольцевой сетью 110 кВ. Структурная схема сети энергорайона представлена на рисунке 2.

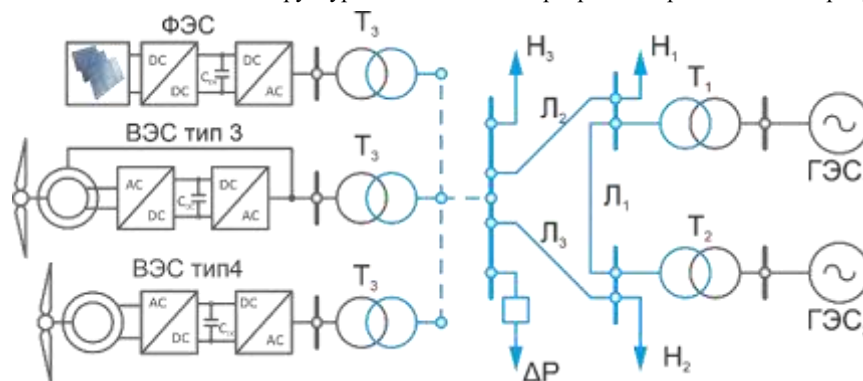


Рис. 2. Структурная схема сети исследуемого энергорайона

В нормальном режиме в энергорайоне обеспечивается баланс активной мощности, частота сети поддерживается на требуемом уровне 50 Гц регуляторами ГЭС. Установленные мощности электростанций эквивалентны друг другу и составляют 20 МВт. Для сравнительного анализа инерционного отклика различных

типов ВИЭ принят сценарий нарушения баланса активной мощности путем наброса нагрузки ΔP 1 МВт, при котором рассматривался процесс снижения частоты в сети. Расчет модели произведен для каждого типа ВИЭ в отдельности при прочих равных условиях. В результате выполнения серии опытов при варьировании величин коэффициентов K_{in} и K_d регулятора синтетической инерции получены осциллограммы частоты сети и выдаваемой мощности электростанций. Результаты оценки максимального отклонения и скорости изменения частоты сети согласно полученным осциллограммам представлены на рисунках 3 и 4.

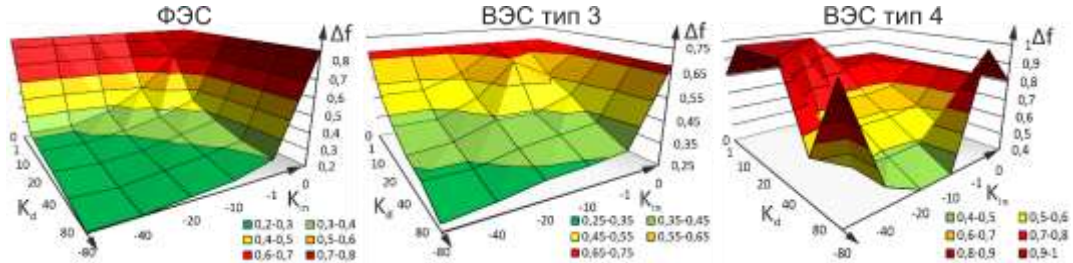


Рис. 3. Графики зависимости предельного отклонения частоты от величины коэффициентов K_{in} и K_d

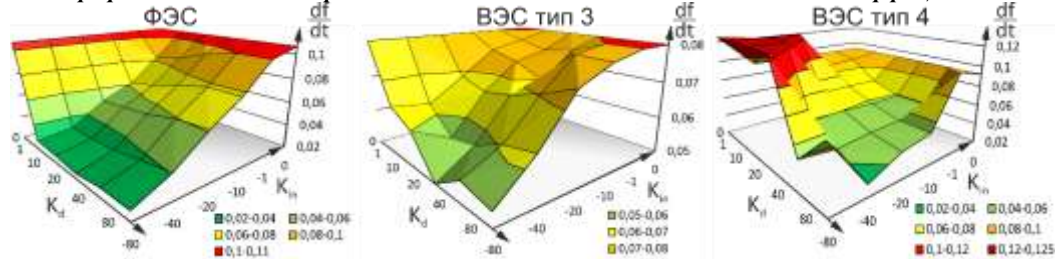


Рис. 4. Графики зависимости скорости изменения частоты от величины коэффициентов K_{in} и K_d

Увеличение модуля величины коэффициента K_{in} регулятора в канале по скорости изменения частоты приводит к значительному уменьшению предельного отклонения частоты и снижению скорости изменения частоты для всех типов электростанций на базе ВИЭ. Коэффициент K_{in} определяет крутизну и амплитуду импульса дополнительной мощности от ВИЭ через преобразователи в сеть. Увеличение величины коэффициента K_d регулятора в канале по отклонению частоты так же приводит к уменьшению предельного отклонения частоты, но слабо способствует снижению скорости снижения частоты. Коэффициент K_d определяет амплитуду и длительность импульса дополнительной мощности от ВИЭ через преобразователи в сеть.

Наиболее высокими характеристиками устойчивости на всем исследуемом диапазоне величин коэффициентов регулятора синтетической инерции обладают ФЭС и ВЭС типа 3, что обуславливается конструктивными особенностями систем подключения к сети и принципом накопления и выдачи дополнительной мощности в сеть. Для ФЭС применяется система накопления энергии в виде блоков конденсаторных либо аккумуляторных батарей в цепи постоянного тока. Также возможно применение системы недогрузки солнечных панелей смещения точки выдачи максимальной мощности. Для ВЭС 3 и 4 типа, применяется принцип выдачи дополнительной активной мощности высвобождая накопленную кинетическую энергию ветрового колеса ветроэнергостанции путем затормаживания ротора [3]. Наименьшая устойчивость ВЭС типа 4 обуславливается реактивным набором скорости ветрового колеса свыше номинальной после торможения ротора воздействием модуля синтетической инерции.

Применение модуля синтетической инерции при правильной настройке коэффициентах K_{in} и K_d позволяет существенно уменьшить максимальное отклонение и скорость изменения частоты сети. Но при неправильно подобранных коэффициентах наблюдаются нарушение динамической устойчивости установок ВИЭ, в результате неправильной работы регуляторов силовых преобразователей появляются колебания частоты и мощности в узле подключения ВИЭ. Наиболее предпочтительными для применения алгоритма синтетической инерции являются электростанции на базе ФЭС и ВЭС типа 3.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, грант МК-5320.2021.4.

Литература

1. Dreidy M., Mokhlis H., Mekhilef S. Inertia response and frequency control techniques for renewable energy sources: A review //Renewable and sustainable energy reviews. – 2017. – Т. 69. – С.144-155.
2. Rahmann C., Mayol C., Haas J. Dynamic control strategy in partially - shaded photovoltaic power plants for improving the frequency of the electricity system //Journal of Cleaner Production. – 2018. – Т. 202. – С.109-119.
3. Ramesh M., Yadav A. K., Pathak P. K. An extensive review on load frequency control of solar - wind based hybrid renewable energy systems //Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. – 2021. – С. 1-25.
4. Singhvi V. et al. Impact of wind active power control strategies on frequency response of an interconnection //2013 IEEE Power & Energy Society General Meeting. – IEEE, 2013. – С. 1-5.