

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ СОВМЕСТНО С ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ ПРИ РАБОТЕ ИНВЕРТОРА В РЕЖИМЕ «ВЕДУЩИЙ»

П.П. Радько, Я.Ю. Малькова

Томский политехнический университет, ИШЭ, ОЭЭ, группа А4-42

Научный руководитель: А.А. Суворов, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ

Введение

Основной проблемой эксплуатации возобновляемых источников энергии является стохастический характер первичного источника, иначе говоря, нестабильность силы ветра для ветроэлектрических установок (ВЭУ) и солнечной инсоляции для фотоэлектрических установок (ФЭУ). При этом данную проблему решить почти невозможно, из-за чего коэффициент использования установленной мощности объектов возобновляемой энергетики является наименьшим среди остальных типов электростанций (14,4 % для ФЭУ и 28,31 % для ВЭУ) [1].

Системы накопления электрической энергии за счет способности накапливать избыточные объемы электроэнергии, производимые объектами ВИЭ в периоды пиковой выработки, с целью ее выдачи в другие часы, позволяют существенно увеличить эффективность использования возобновляемых источников. Примером успешного применения этого подхода служит проект, реализованный во Франции на острове Ла-Реюньон, где была установлена система накопления электрической энергии (СНЭЭ) с аккумуляторной батареей энергоемкостью 9 МВт·ч в составе солнечной электростанции установленной мощностью 9 МВт [2]. Российским примером совместной работы ФЭУ и СНЭЭ можно считать Бурзянскую солнечную электростанцию мощностью 10 МВт со встроенной системой накопления электроэнергии емкостью 8 МВт·ч. [3]

Тенденция внедрения СНЭЭ для совместной работы с ВИЭ касается в том числе и в распределенной генерации. В таких условиях улучшение стабильности электроснабжения перекликается в том числе с экономической выгодой: максимизация потребления электроэнергии, вырабатываемой собственными ФЭУ, а также минимизация экспорта ее излишков в энергосистему является более предпочтительным режимом работы [4].

Однако для корректной взаимосвязи объекта ВИЭ и СНЭЭ, а также для эффективного учета заряда необходимы системы управления инвертором, позволяющие оценивать и контролировать соответствующие параметры. При этом стоит отметить, что наиболее распространены топологии, при которых к одному инвертору подключены как объекты ВИЭ, так и СНЭЭ, что вынуждает использовать двунаправленный гибридный инвертор с продвинутой системой управления. Конфигурация системы управления на базе виртуального синхронного генератора ВСГ [5] позволяет учесть сложную топологию энергосистемы с совместно работающими возобновляемыми источниками и системами накопления, обеспечивая корректное регулирование режимных параметров в темпе переходного процесса.

Исследуемая модель

Наиболее наглядно сравнение эффективности системы электроснабжения с накопителями электрической энергии и без них приведено в [6]. В данной работе формируется топология системы управления гибридным инвертором на базе ВСГ, а также приводится топология подключения объекта распределенной генерации (СНЭЭ, ФЭУ, инвертор и фильтр) к электрической сети (рис. 1).

Затем проводится моделирование различных возмущений в 18-узловой системе, схожей с европейской распределительной сетью низкого напряжения. В эту систему, приведенную на рис. 2, включены сразу три объекта распределенной генерации (DG).

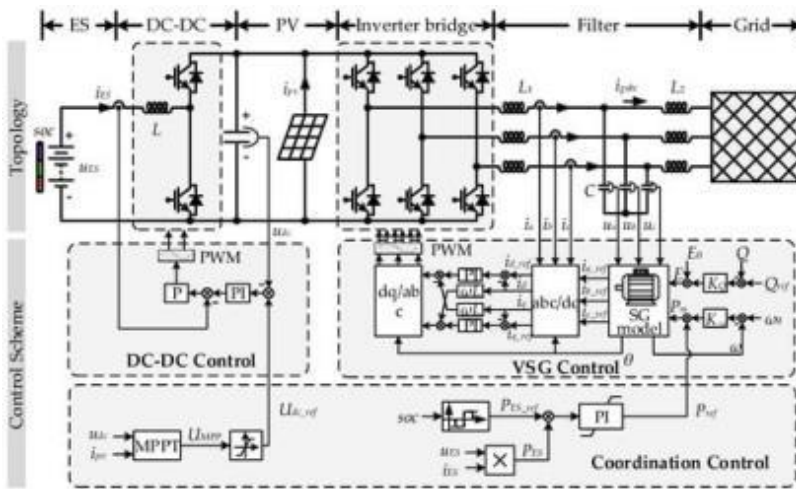


Рис. 1. Схема ВСГ при исследовании повышения эффективности системы электроснабжения с объектами ВИЭ

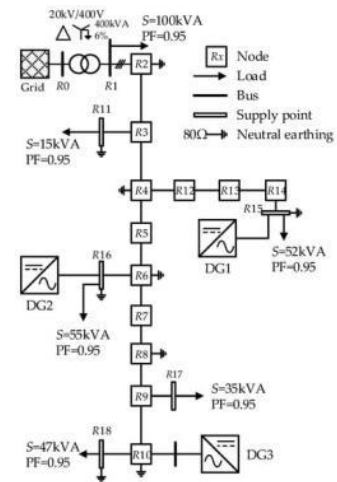


Рис. 2. Топология модели при исследовании повышения эффективности системы электроснабжения с объектами ВИЭ

Результаты экспериментов

В качестве возмущений в данной работе выступают изменение нагрузки в узле R11 от 15 до 25 кВт; трехфазное короткое замыкание в узле R17; изменение солнечной инсоляции на 50 Вт/м^2 в DG3. Результаты приведены на рис. 3–5.

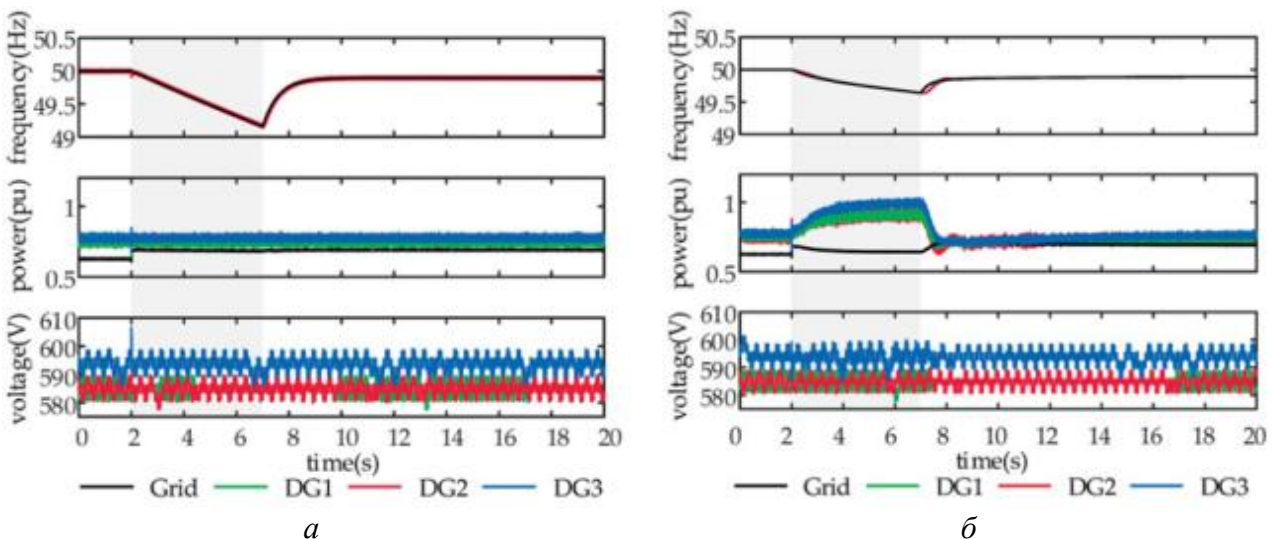


Рис. 3. Осциллограммы частоты, активной мощности и напряжения при увеличении нагрузки при использовании: а – ФЭУ; б – ФЭУ, СНЭЭ и ВСГ

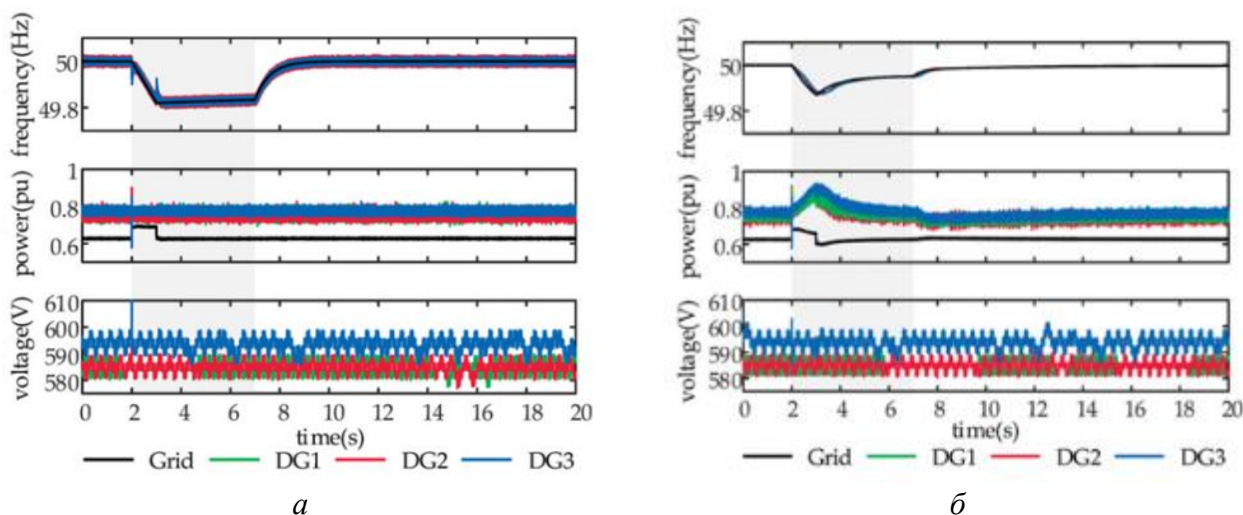


Рис. 4. Осциллограммы частоты, активной мощности и напряжения при трехфазном коротком замыкании при использовании: а – ФЭУ; б – ФЭУ, СНЭЭ и ВСГ

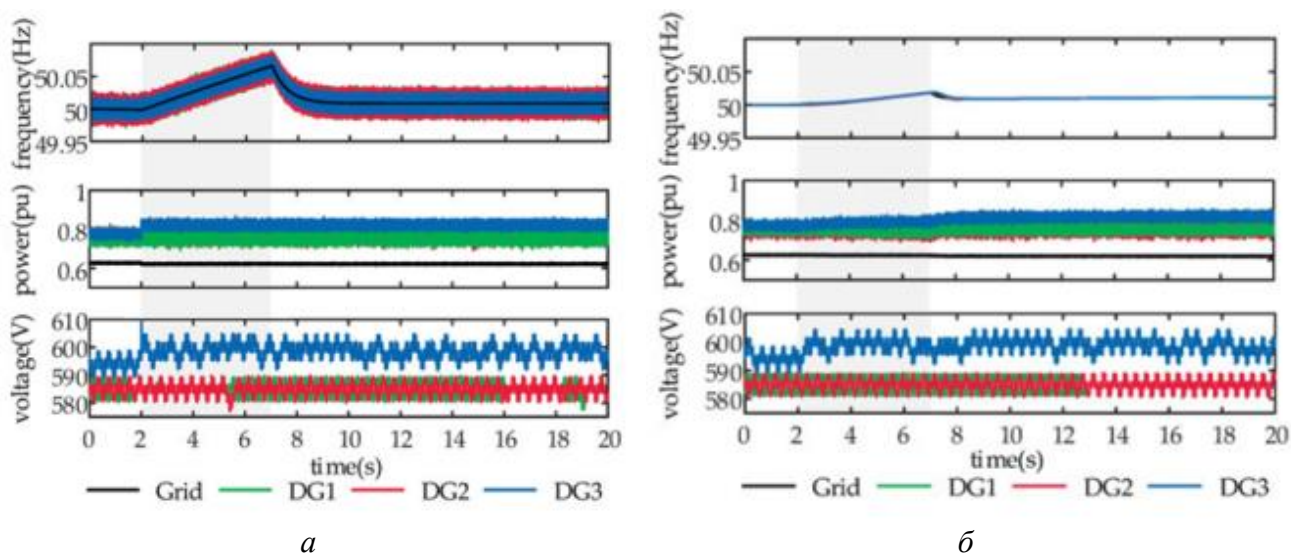


Рис. 5. Осциллограммы частоты, активной мощности и напряжения при изменении инсоляции при использовании: а – ФЭУ; б – ФЭУ, СНЭЭ и ВСГ

Анализ результатов и развитие структуры виртуального синхронного генератора

Из результатов видно, что применение СНЭЭ с ВСГ позволяет значительно сократить отклонения значений режимных параметров (в частности частоты) от номинальных, за счет своевременного использования накопленной активной мощности. В случае изменения нагрузки предельное отклонение частоты сокращается с 0,87 до 0,25 Гц, обеспечивая сокращение данного параметра на 70 %. Аналогичная картина наблюдается и при моделировании коротких замыканий. Предельное отклонение частоты сокращается примерно на 40 %, при том, что при использовании СНЭЭ и ВСГ частота сводится к номинальному значению более плавно. При изменении инсоляции отклонение частоты сокращается на 65 % за счет поступательного набора мощности.

Также стоит отметить, что поскольку система управления на основе ВСГ позволяет добавлять и изменять контуры управления, появляется множество работ, посвященных модернизации конфигурации ВСГ. Исследования сосредоточены на обеспечении более адаптивного регулирования параметров, таких как виртуальный момент инерции [7, 8] и коэффициент

демпфирования [9, 10]. Помимо этого, существуют работы по добавлению вспомогательных контуров, к примеру, для коррекции демпфирования [11] или стабилизации по напряжению [12].

Выводы и рекомендации по модернизации систем электроснабжения

Учитывая множество структур ВСГ, необходимо выбрать и оптимизировать систему управления под конкретные рассматриваемые схемно-режимные условия. Как правило все структуры ВСГ оказывают благоприятное влияние на переходные процессы по сравнению с традиционной системой управления, однако нагромождение лишними контурами усложняет настройку и может негативно сказаться на адаптивности системы управления.

Также требуется учесть, что помимо СНЭЭ к инвертору подключены и объекты ВИЭ, а значит в регулировании режимных параметров могут участвовать не только накопители, тем более в случае обеспечения на объектах ВИЭ резерва мощности. Распределение задач в плане регулирования и контроля также доступно в случае применения системы управления на основе ВСГ, чем можно воспользоваться на этапе проектирования системы электроснабжения.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2021 году. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.soups.ru/functioning/tech-disc/tech-disc-ups/>
2. IRENA. Electricity Storage Valuation Framework: Assessing system value and ensuring project viability. 2020. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/>
3. Немченко А.В., Короткий Р.П., Ханин Ю.И., Лихолетов Е.А. Особенности инновационного развития возобновляемых источников энергии на примере солнечных электростанций // МНИЖ. – 2021. – № 6-1 (108).
4. Георгиевский И. Д. Увеличение доли генерирующего оборудования на основе ВИЭ в составе энергосистем за счет применения систем накопления электроэнергии // Всероссийская Школа Молодых Ученых. – С. 38.
5. Shadoul M., Ahshan R., Alabri R.S., Al-Badi A., Albadi M., Jamil M.A. Comprehensive Review on a Virtual-Synchronous Generator: Topologies, Control Orders and Techniques, Energy Storages, and Applications // Energies. – 2022. – V. 15. – P. 8406. <https://doi.org/10.3390/en15228406>
6. Xu H., Su J., Liu N., Shi Y. A Grid-Supporting Photovoltaic System Implemented by a VSG with Energy Storage // Energies. – 2018. – V. 11. – P. 3152. <https://doi.org/10.3390/en11113152>
7. Alipoor J., Miura Y., Ise T. Power System Stabilization Using Virtual Synchronous Generator With Alternating Moment of Inertia // IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. – 2015. – V. 3, no. 2. – P. 451–458. doi: 10.1109/JESTPE.2014.2362530.
8. Hu Y., Wei W., Peng Y., Lei J. Fuzzy virtual inertia control for virtual synchronous generator // 35th Chinese Control Conference (CCC), Chengdu, China. – 2016. – P. 8523–8527. doi: 10.1109/ChiCC.2016.7554718.
9. Li D., Zhu Q., Lin S., Bian X.Y. A self-adaptive inertia and damping combination control of VSG to support frequency stability // IEEE Trans. Energy Convers. – 2017. – V. 32. – P. 397–398.
10. Cloughley M., Muttaqi K.M. Du Haiping. Damping of low-inertia machine oscillations using Takagi-Sugeno stabiliser tuned by genetic algorithm optimisation to improve system stability // IET Generation, Transmission & Distribution. – 2014. – V. 8, no. 2. – P. 339–352.
11. Dong S., Chen Y.C. Adjusting synchronverter dynamic response speed via damping correction loop // IEEE Trans. Energy Convers. – 2017. – V. 32. – P. 608–619.
12. Esfahani M.M., Habib H.F., Mohammed O.A. Microgrid Stability Improvement using a Fuzzy-Based PSS Design for Virtual Synchronous Generator // SoutheastCon. – 2018. – St. Petersburg, FL, USA, 2018. – P. 1–5. doi: 10.1109/SECON.2018.8478982.