

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНЕРЦИОННОГО ОТКЛИКА НА СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В РАЗНЫХ ПО ПЛОТНОСТИ СЕТЯХ

Радько П.П.

ФГАОУ ВО НИ ТПУ, ИШЭ, 5AM21, ppr1@tpu.ru

Введение

В связи с глобальной тенденцией перехода к возобновляемым источникам процент их внедрения в электроэнергетические системы постоянно растет. На рис. 1 показано, что количество вводов новых объектов альтернативной генерации в России по планам будет увеличиваться вплоть до 2035 года [1].

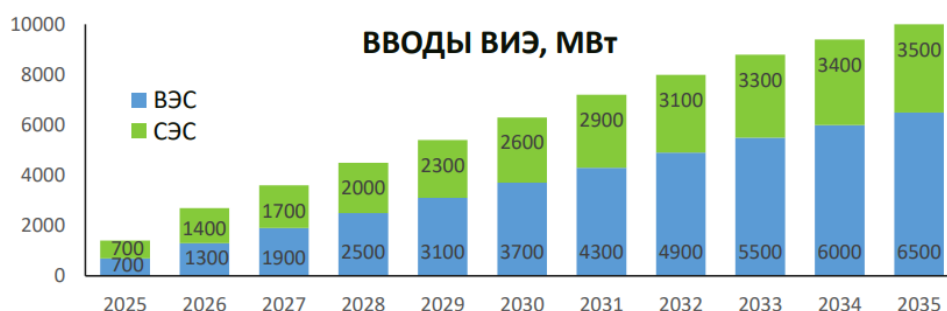


Рис. 1. Планируемая динамика ввода объектов ВИЭ в России на период 2025-2035 гг. (ДПМ ВИЭ 2.0)

Однако динамика внедрения ВИЭ приводит к уменьшению постоянной инерции, что проявляется в появлении более стремительных переходных процессов, особенно связанных с изменением частоты при использовании традиционной системы управления силовым преобразователем.

В России проблема встает более остро, поскольку из-за большой территории много энергорайонов являются удаленными или даже изолированными от единой энергосистемы [2]. Следовательно, при наличии объектов ВИЭ в таких районах любые возмущения будут приводить к резким изменениям режимных параметров, которые могут в свою очередь привести к тяжелым авариям.

Таким образом встает задача обеспечить на объектах ВИЭ, в данном исследовании на солнечной электростанции, инерционный отклик, сравнимого с тем, что наблюдается на традиционных источниках энергии, а также сравнить их действие в сильных (в составе ЕЭС) и слабых (удаленных) сетях.

Существующие направления решения

Сгладить кривые мощности можно применением накопителей энергии, но это требует как капитальных, так и эксплуатационных расходов и в данной работе этот метод не рассматривается. Вместо этого лучше увеличить инерцию станции с помощью алгоритмов ее управления.

Из-за того, что солнечная энергия бесплатна, наиболее выгодным алгоритмом работы СЭС является режим с максимальной выдачей мощности. Однако это делает невозможным или как минимум сильно ограниченным участие такой станции в регулировании частоты и напряжения. В этой ситуации инвертор, установленный у фотоэлектрической установки, лишь подстраивается под частоту сети, из-за чего такой режим работы инвертора называют «ведомым сетью». Резерв при такой работе можно обеспечить, используя блок синтетической инерции (СИ), приведенный на рис. 2, благодаря чему участия в регулировании можно достичь, хоть и весьма ограниченного. Преимуществом использования блока синтетической инерции является простота его исполнения, однако необходимость разгрузки ведет к экономическим потерям, что является недостатком.

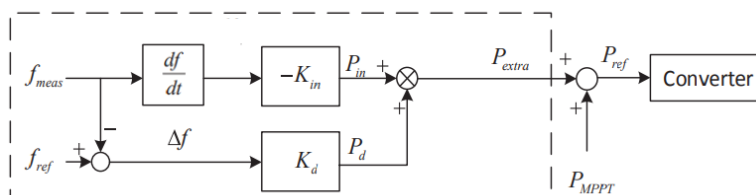


Рис. 2. Структурная схема модуля синтетической инерции

Однако, при большой доле внедрения возобновляемых источников, что характерно как раз для удаленных районов или для развитых в этом направлении стран, участие в полноценном регулировании режимных параметров уже становится обязательным [3]. Добиться этого можно с помощью комплексной имитации работы традиционной машины, и самым приближенным к этому решением является использование виртуального синхронного генератора (ВСГ), рис. 3. При ВСГ частота и напряжение на выходе определяются именно алгоритмами работы инвертора, а сам инвертор работает уже в режиме «ведущего». Основным преимуществом такого решения является способность регулирования режимных параметров и без разгрузки.

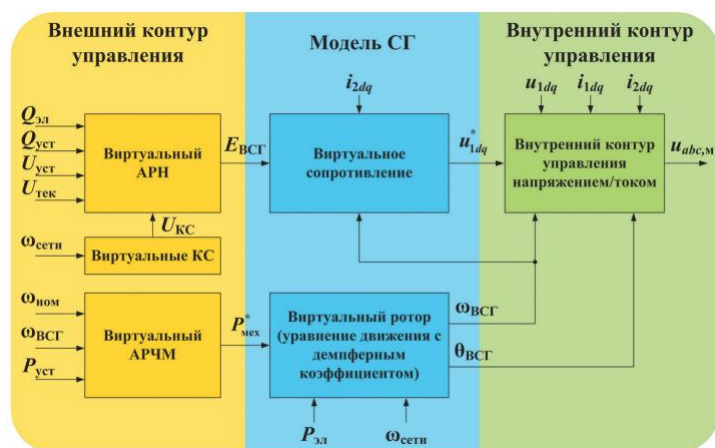


Рис. 3. Классическая структура управляемого по напряжению ВСГ (ВСГ-Н)

Как видно из описания, оба решения весьма ситуативные, т.е. их применение будет сопровождаться разной эффективностью в зависимости от условий и запросов. Сравнению и анализу работы блока синтетической инерции и виртуального синхронного генератора и посвящена данная работа.

Исследуемая модель

Исследуемая модель представляет собой одномашинную систему, приведенную на рис. 4. Шина 4 представлена шиной бесконечной мощности. 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 [4]. Затем, в качестве возмущения, проводится увеличение нагрузки Н1. Опыты проводятся для традиционной системы управления, для применения синтетической инерции и для применения ВСГ в сильных и слабых сетях.

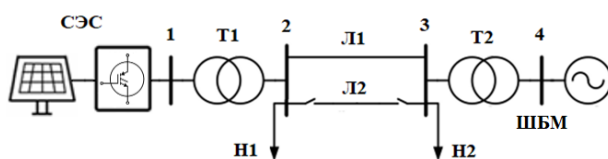


Рис. 4. Схема исследуемой энергосистемы

Важно уточнить, что при синтетической инерции установки были разгружены на 10 %, в то время как при ВСГ, пользуясь его преимуществом, станция не была разгружена. При этом первоначальные выдаваемые мощности во всех экспериментах были примерно одинаковыми. Исследование проводится в программно-аппаратном комплексе RSCAD/RTDS.

Результаты экспериментов

Изменение нагрузки приводит к возникновению вполне ожидаемых колебаний мощности (рис. 5) в случае применения ВСГ и блока СИ, которые, как видно из рис. 6, почти не повлияли на график изменения частоты. Однако видно, что при работе блока СИ и традиционной САУ наблюдаются гармонические колебания, большие по амплитуде относительно аналогичных при ВСГ. Их появление обусловлено работой системы подстройки под частоту сети [5], так как инвертор работает в режиме «ведомый».

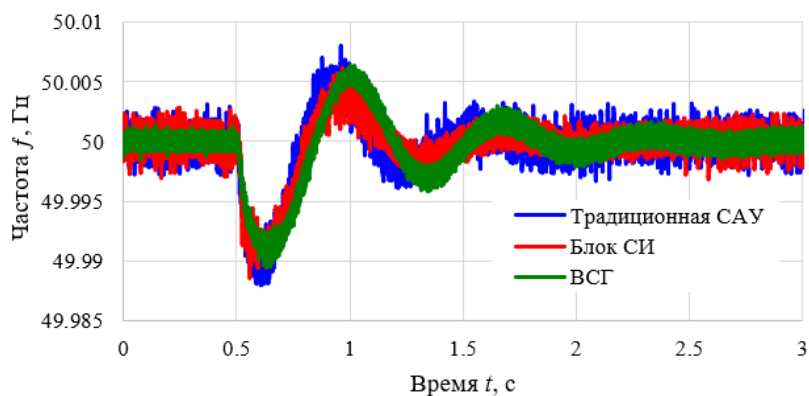


Рис. 5. Осциллограммы частоты в сильной сети

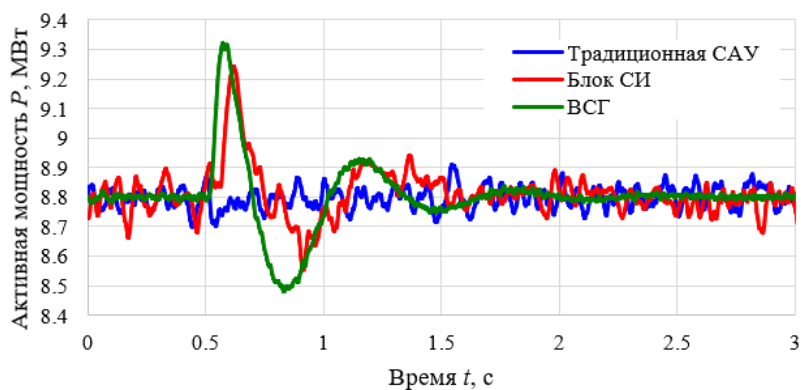


Рис. 6. Осциллограммы мощности в сильной сети

В слабой сети после наброса нагрузки наблюдаются те же процессы, что и в сильной, за тем лишь исключением, что отклонения частоты при всех мерах больше (рис. 7 и рис. 8).

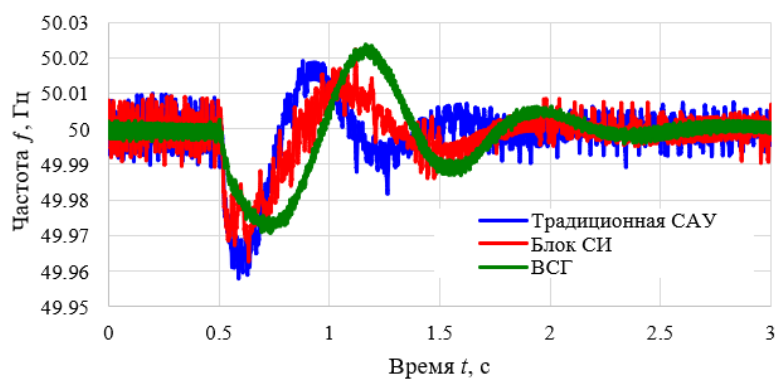


Рис. 7. Осциллограммы частоты в слабой сети

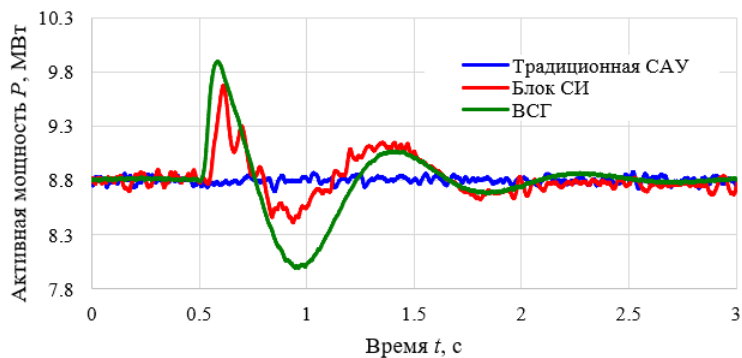


Рис. 8. Осциллограммы мощности в слабой сети

Также видно, что гармонические колебания, которые были заметны еще на рис. 6, значительно увеличиваются в своей амплитуде при возмущениях в слабой сети. При работе виртуального синхронного генератора такой проблемы не наблюдается, из-за чего его применение в слабых сетях становится более целесообразным, чем применение остальных рассмотренных методов улучшения устойчивости системы. В таблице 1 показано количественное сравнение наблюдаемых параметров в сильных и слабых сетях.

Таблица 1

Сравнение параметров между сетями разной плотности

Параметр		Сильная сеть	Слабая сеть	Увеличение относительно сильной сети, %
Средняя скорость отклонения частоты за первые 0,1 с, Гц/с	Традиционная САУ	0,1	0,317	217
	Блок СИ	0,077	0,164	112,987
	ВСГ	0,094	0,184	95,74468
Минимальная наблюдаемая частота, Гц	Традиционная САУ	49,98795	49,95787	-0,06017
	Блок СИ	49,98853	49,96266	-0,05175
	ВСГ	49,98945	49,97064	-0,03763
Амплитуда гармонических колебаний мощности после переходного процесса, МВт	Традиционная САУ	0,15862	0,23689	49,34434
	Блок СИ	0,17078	0,35701	109,0467
	ВСГ	0,03203	0,02206	-31,1271

Заключение

Основными методами обеспечения инерционного отклика на СЭС являются применение блока синтетической инерции и виртуального синхронного генератора, однако в разных условиях степень влияния на переходные процессы этих методов может разительно отличаться.

В сильной сети оба метода показывают свою эффективность без проявления негативных факторов, поэтому в случае, если есть возможность разгрузить фотоэлектрические установки, применение блока синтетической инерции может оказаться вполне подходящим способом повысить устойчивость системы.

В слабой же сети работа блока СИ приводит к возникновению гармонических высокочастотных колебаний режимных параметров, из-за чего его применение в таких сетях не является целесообразным. В это же время виртуальный синхронный генератор не имеет таких проблем, ко всему прочему эффективно участвуя в регулировании частоты.

Список использованных источников

1. Российские научные кадры для энергетики на основе ВИЭ / В.А. Бутузов, Р.А. Амерханов, О.В. Григораш, Д.А. Будников // Энергосбережение и водоподготовка. – 2022. – № 3(137). – С. 17-28. – EDN XAWXSL.
2. Бердников Р. Оптимизация систем энергоснабжения удаленных и изолированных территорий за счет управления энергетической гибкостью / Р. Бердников, Д. Холкин, И. Чаусов // Энергетическая политика. – 2023. – № 1(179). – С. 94-106. – DOI 10.46920/2409-5516_2023_1179.94. – EDN CRQLOW.
3. Wang M., Meng K., Yuan L. and Liang Z. Comparative Synthetic Inertia Assessment Between Droop And Virtual Synchronous Generator Control For Weak Grids Integration // 2022 IEEE 5th International Electrical and Energy Conference (CIEEC), Nangjing, China, 2022. – P. 4493–4498. – Doi: 10.1109/CIEEC54735.2022.9845936.
4. К вопросу о современных принципах управления возобновляемыми источниками энергии на основе виртуального синхронного генератора / А.Б. Аскараров, А.А. Суворов, М.В. Андреев, А.С. Гусев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2022. – № 41. – С. 5-30. – DOI 10.15593/2224-9397/2022.1.01. – EDN DGQASR.
5. Алексеев А.Ю. ФАПЧ генератора / А.Ю. Алексеев // Научно-исследовательский центр «Technical Innovations». – 2023. – № 10. – С. 8-11. – EDN NQGUXT.