

ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

*Бернякович Е.А.
НИ ТПУ, ИШЭ, 5АМ41, eab72@tpu.ru*

Введение

Регулирование частоты для солнечных электростанций не является основной задачей, поэтому на практике солнечные электростанции (СЭС) участвуют в регулировании частоты не постоянно, а только по необходимости.

Для того, чтобы подобрать наилучший вариант использования СЭС была поставлена цель: изучение и выбор наиболее эффективного подхода к регулированию частоты с помощью солнечных электростанций. Также, он должен удовлетворять требованиям, предъявляемым к системам регулирования.

Подходы к регулированию частоты в ЭЭС с помощью СЭС

Солнечные электростанции имеют не малый потенциал для участия в регулировании частоты энергосистемы. Как правило, СЭС имеют возможность быстро изменять свою мощность в зависимости от изменений в спросе на электроэнергию, что позволяет им эффективно регулировать частоту энергосистемы.

При этом, необходимо учитывать, что погодные условия влияют на работу СЭС, их мощность может колебаться не только в зависимости от времени года, но и в течение дня. Для обеспечения устойчивости энергосистемы необходимо иметь механизмы управления и согласования работы СЭС с другими источниками энергии.

С увеличением доли солнечной энергии в энергосистеме перспективы СЭС в регулировании частоты будут становиться с каждым разом более значимыми. Для реализации задуманного важно развивать технологии хранения энергии и усовершенствовать системы управления, чтобы обеспечить эффективную и стабильную работу солнечных электростанций при их участии в регулировании частоты энергосистемы. Первым способом является использование запасенной ранее энергии. Считается, что любой генератор участвует в регулировании частоты, когда его мощность изменяется в зависимости от условий нагрузки и, следовательно, уравнивает генерацию и спрос. Из-за высокой стоимости солнечных панелей проводятся исследования по извлечению максимальной мощности с использованием методов МРРТ (метод слежения за точкой максимальной мощности) [1]. Ученые в своем исследовании [2] сравнили немалое количество различных методов по фотоэлектрическим системам, что указывает на стремление к достижению максимальной эффективности солнечной панели. При помощи таких алгоритмов МРРТ выходная мощность солнечной панели поддерживается на высоком уровне при изменениях температуры и освещенности, что минимизирует влияние на регулирование частоты. Внедрение соответствующего управления через систему хранения батарей поможет эффективно справляться с колебанием частоты, но затраты на аккумуляторные батареи (свинцово-кислотные, литий-ионные и др.), их обслуживание и замену, представляют собой дополнительные немалые финансовые расходы. Также, условия холодного климата России, нежелезные южных стран, значительно сокращают срок их эксплуатации, что тоже подразумевает собой дополнительные расходы. Следовательно, можно сделать вывод – в некоторых случаях хранение энергии экономически нерационально. Хотя, в быстро развивающемся Китае установленная мощность ВИЭ превысила 1200 ГВт: вырабатываемая мощность сильно превышает возможности хранения (на данный момент установленная емкость батарей достигла всего 44 ГВт), что говорит о необходимости изготовления и эксплуатации аккумулирующих устройств. Несмотря на изученный недостаток, с увеличением важности регулирования частоты в ЭС с помощью возобновляемых источников энергии, необходимо перенести часть функций аккумулирующих батарей непосредственно на солнечные панели.

Также, существует метод использования двухслойного конденсатора для запаса энергии. Колебания частоты в фотоэлектрической системе, подключенной к сети, снижаются с помощью электрического двухслойного конденсатора (ЭДК), в котором накопление энергии происходит преимущественно за счет двухслойной емкости. Данная идея заключается в управлении скоростью нарастания мощности фотоэлектрической системы. ЭДК поглощает колебания мощности и управляет скоростью нарастания мощности на основе скользящего среднего значения мощности фотоэлектрической системы [3]. Несмотря на свои преимущества, ЭДК также имеет ряд значительных для СЭС минусов.

Помимо ограниченной долговечности, чувствительности к влажности выделим основные проблемы и представим их в таблице 1.

Таблица 1

Недостатки использования ЭДК

	Недостаток	Описание
1	Ограниченная емкость	Низкая емкость ЭДК может ограничивать их способность к накоплению энергии, что может быть критично в солнечных электростанциях, где необходимо обеспечивать стабильное питание.
2	Высокая стоимость	Она может являться препятствием для широкого использования.
3	Чувствительность к температуре	Солнечные электростанции часто работают в условиях высоких температур, что может привести к изменению емкости и других параметров ЭДК, что может негативно сказаться на их работе.
4	Ограниченный диапазон напряжений	ЭДК могут работать только в определенном диапазоне напряжений, что может быть проблемой в СЭС, где напряжение может варьироваться в зависимости от уровня солнечной радиации.
5	Наличие «паразитных» параметров	«Паразитные» параметры ЭДК, такие как индуктивность и сопротивление, могут повлиять на работу в высокочастотных схемах, используемых в СЭС.
6	Сложность монтажа	Монтаж ЭДК в СЭС может быть сложным и трудоемким процессом, что может увеличить затраты на установку и обслуживанию.
7	Уязвимость к электромагнитным помехам	ЭДК уязвимы к электромагнитным помехам, что может быть проблемой в СЭС, где используются высокочастотные схемы и мощные электрические нагрузки

Изучив список отрицательных моментов, приходим к тому, что данный способ несет за собой множество возможных проблем, которые подразумевают не только экономические, но и технические трудности. В данном случае можно использовать гибридные накопители, включающие в себя ЭДК и аккумуляторные батареи, что будет наиболее эффективно, хотя и значительно дороже.

В данной статье преимущество отдается новой концепции управления, при которой выходная мощность фотоэлектрической станции (ФЭС) регулируется для поддержания системной частоты за счет резервирования части его мощности. Основная идея заключается в том, чтобы заставить массив фотоэлектрических модулей функционировать вне точки максимальной мощности (о которой говорилось ранее), что позволит обеспечить доступную резервную мощность непосредственно от самих модулей. Эта резервная мощность используется в случае необходимости увеличения выработки, что помогает предотвратить колебания частоты. Предлагается, что в ситуациях, когда частотный контроль должен осуществляться с помощью фотоэлектрической системы, панель разгружается на заранее определенный максимальный процент мощности, исходя из необходимого резерва. Формулировка такова: при возникновении отклонений частоты, выделяемая мощность будет пропорциональна этому отклонению. В ходе переходных процессов СЭС реагирует быстро и корректирует свою выходную мощность в зависимости от потребностей в электроэнергии. Это позволяет избежать использования дорогих накопителей, которые рассматривались первоначально. Также, по сравнению с батареями, использование разгруженных систем имеет преимущество в том, что они являются активным источником, а следовательно, не требуют дополнительной зарядки.

Но даже такая концепция имеет весомый недостаток – недоступность в ночное время. Данная проблема наглядно изображена на рис. 1.

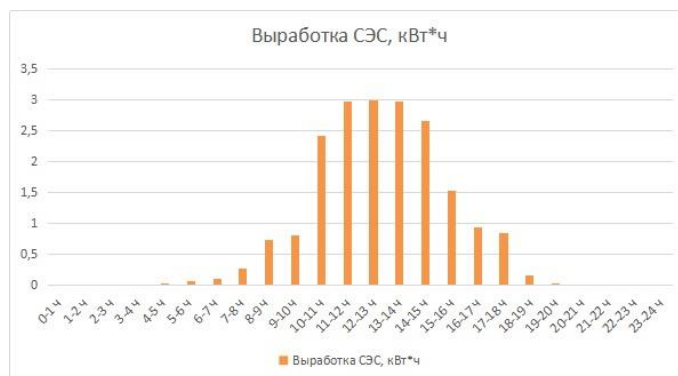


Рис. 1. Почасовой график выработки мощности СЭС за сутки

Днем солнечные панели полностью используют энергию солнечного света для производства электроэнергии, в то время как ночью производство электроэнергии значительно снижается или полностью прекращается. В этом контексте соотношение выработки мощности днем и ночью для солнечных электростанций может быть приблизительно 80-90% днем и 0-20% ночью. В таком случае предлагается решение в виде использования традиционных генераторов, которые покрывают ночные нагрузки.

Заключение

В результате изучения различных вариантов регулирования частоты с помощью солнечных электростанций решается первоначально поставленная проблема. Выбранная концепция даёт большие возможности внедрению СЭС в процесс стабилизации частоты в энергетической системе.

Наиболее эффективным вариантом, из всех представленных в статье, оказалось резервирование части генерируемой мощности. Несмотря на неоспоримый минус работы солнечной электростанции ночью (представленный на рисунке 1), найдено решение, которое покрывает данное затруднение. Выбранная концепция удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системам регулирования [4]:

- Надежность и устойчивость – система регулирования должна обеспечивать непрерывное и стабильное функционирование энергосистемы, предотвращая возможные аварийные ситуации;
- Эффективность и энергоэкономичность – система регулирования должна быть эффективной в использовании ресурсов и обеспечивать оптимальное распределение энергии в системе;
- Соблюдение законодательства и стандартов – система регулирования должна соответствовать законодательству и нормативам в области энергетики, обеспечивая соблюдение правил и требований регулирующих органов.

Также, к другим вариантам были подобраны альтернативные способы эксплуатации, более эффективные. Вместо использования единичного ЭДК, выгодней будет дополнить работу аккумулирующими батареями и создать гибридные накопители.

Цель достигнута, найденное решение важной научной проблемы способно обеспечить стабильность частоты в энергообъединениях сложной структуры, включающих СЭС, при различных схемно-режимных условиях их работы, в том числе и в аварийных режимах работы.

Список использованных источников

1. Esmar T., Chapman P.L. Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques. IEEE Transactions on energy 2007; pp. 434-449; [Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques \(researchgate.net\)](#).
2. Xu Z., Guan X., Jia Q.S., Wu J., Wang D., Chen S. Performance analysis and comparison on energy storage devices for smart building energy management 2012; pp.2136-2147; [Performance Analysis and Comparison on Energy Storage Devices for Smart Building Energy Management | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore](#).
3. Kakimoto N., Takayama S., Satoh H., Nakamura K. Ramp-rate control of photovoltaic generator with electric double-layer capacitor 2009; pp. 465-473; [Ramp-Rate Control of Photovoltaic Generator With Electric Double-Layer Capacitor | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore](#).
4. СТО. Оперативно-диспетчерское управление в электроэнергетике. Регулирование частоты и перетоков активной мощности в ЕЭС и изолированно работающих энергосистемах России. Требования к организации и осуществлению процесса, техническим средствам: Стандарт организации ОАО РАО «ЕЭС России»: дата введения 2007-11-01 / ОАО «Системный оператор – Центральное диспетчерское управления Единой энергетической системы». – Изд. Официальное. - ОАО РАО «ЕЭС России», 2007. – 53 с.