

ОТЗЫВ

дополнительного члена диссертационного совета ДС.ТПУ.17, д.т.н., профессора **Букреева Виктора Григорьевича** на диссертационную работу **Рудника Владимира Евгеньевича «Программно-технические средства моделирования в реальном времени фотоэлектрической солнечной электростанции в электроэнергетической системе»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.4.3 – Электроэнергетика

1. Актуальность темы диссертации

В Российской Федерации происходит активная интеграция в электроэнергетические системы (ЭЭС) генерирующих установок, функционирующих на базе возобновляемых источников энергии, в частности, фотоэлектрических солнечных электростанций (ФСЭС). Для ФСЭС особенностью является их подключение к сети с помощью сетевого инвертора. Широкомасштабное внедрение ФСЭС изменяет динамические свойства энергосистемы из-за особенностей функционирования инвертора и его системы управления по сравнению с традиционными генерирующими установками. Данные особенности приводят к существенному влиянию ФСЭС на все существующие виды устойчивости энергосистемы. Для решения задач, связанных с анализом переходных процессов в ЭЭС с ФСЭС, требуется дополнительная информация при различных режимах их работы, которую возможно получить с помощью математического и имитационного моделирования. В связи с этим обстоятельством: научно-техническая задача моделирования ФСЭС в составе ЭЭС представляет теоретический интерес и является актуальной ввиду своей значительной практической направленности.

2. Структура, объём и оценка содержания диссертации

Диссертационная работа содержит 154 страницы, 1 приложение, 109 рисунков, 11 таблиц, библиографическое описание цитируемой литературы в количестве 148 источников, оглавление, введение, 4 главы и заключение.

Во **введении** сформулирована актуальность темы исследования, обозначены объект и предмет исследования, определены цель и задачи

диссертационной работы, пояснены методы исследования, сформулированы научная новизна и практическая значимость исследования, а также положения, выносимые на защиту. В этом разделе имеются сведения о степени достоверности и апробации результатов исследования.

В первой главе представлен анализ особенностей ФСЭС, которые заключаются в отсутствии прямого сопряжения с сетью и использовании сетевого инвертора для подключения фотоэлектрической станции в ЭЭС. В результате применения сетевого инвертора существенно изменяются динамические свойства ЭЭС, что может приводить к проблемам, связанных с возникновением колебаний различной частоты и амплитуды. Отмечается, что основным способом анализа процессов в таких сложных системах является математическое и имитационное моделирование.

Во второй главе на основании проведенного анализа перспективной топологии ФСЭС определены основные положения концепции всережимного моделирования фотоэлектрической станции. Согласно выбранной топологии ФСЭС, а также общим положениям концепции всережимного моделирования ЭЭС, разработана структура средств её практической реализации.

В третьей главе на основании всережимного подхода к моделированию создан специализированный гибридный процессор (СГП), предназначенный для детального моделирования ФСЭС. Представлено детальное описание всех составных элементов СГП и их взаимодействие. Приведены результаты проверки функционирования гибридного процессора в целом.

В четвертой главе проведен комплекс испытаний специализированного гибридного процессора, моделирующего работу ФСЭС, в составе имитатора ЭЭС, разработанного на основе состава и топологии реальной энергосистемы. Особое внимание уделено воспроизведению колебаний режимных параметров в энергосистеме с помощью разработанного СГП ФСЭС.

В заключении диссертации сформулированы основные результаты диссертационной работы.

По теме диссертационного исследования опубликовано 6 статей в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ, 6 статей, проиндексированных в базах Scopus и WoS.

Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям диссертации.

3. Уровень новизны научных положений, выводов и рекомендаций

Представленный в диссертации материал актуален и обладает научной новизной:

1. В соответствии концепцией всережимного моделирования энергосистем создан специализированный гибридный процессор, в котором используются физические имитационные модели для повышающего преобразователя постоянного тока и сетевого инвертора, что позволяет воспроизвести динамику цепи постоянного тока и оценить быстродействие систем управления фотоэлектрической станцией.

2. Разработана всережимная модель фотоэлектрической станции, имеющая в своем составе модели таких важных элементов, как «цепи постоянного тока», «быстрые контуры системы автоматического управления сетевого инвертора», в том числе «блок фазовой автоподстройки частоты» и «контур управления током».

4. Практическая значимость результатов исследований

Были выявлены причины существования проблемы моделирования ФСЭС в составе ЭЭС с помощью обобщенных математических моделей, особенно в случае функционирования ФСЭС в слабых электрических сетях, заключающиеся в исключении динамики работы блока фазовой автоподстройки частоты, цепи постоянного тока, первичного источника энергии и упрощенном представлении контура управления активной мощностью, на основании которых сделаны рекомендации по возможным направлениям модернизации таких моделей в зависимости от решаемых задач.

Полученные результаты и выводы диссертационной работы могут быть актуальны для предприятий и компаний, которые занимаются вопросами проектирования и эксплуатации ФСЭС в составе ЭЭС.

5. Замечания

Следует отметить, что, наряду с достоинствами, рецензируемая работа имеет следующие замечания:

1. Рисунок 3.22 (глава 3, с. 70), на котором изображена структурная схема математической модели фотоэлектрического модуля, является плохо читаемым и из-за этого малоинформативным.

2. В главе 4 диссертации не приводятся исходные данные математической модели энергосистемы реальной размерности, что делает невозможным проверку выводов, полученных автором.

3. В главе 1 диссертации не указывается: сталкивались ли с проблемой субсинхронных колебаний, которые наблюдаются в энергосистеме при внедрении фотоэлектрических солнечных электростанций?

4. В рукописи отсутствуют конкретные рекомендации по выбору коэффициентов блока фазовой автоподстройки частоты для устойчивой работы сетевого инвертора в слабых электрических сетях.

Указанные замечания не являются принципиальными и не снижают ценность диссертационной работы Рудника Владимира Евгеньевича, которая обладает научной новизной, имеет практическую значимость и может быть использована для решения задачи детального моделирования ФСЭС в составе ЭЭС. Полученные автором результаты достоверны, а положения и выводы достаточно убедительно обоснованы.

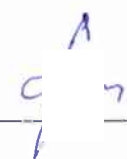
Заключение

Диссертация Рудника Владимира Евгеньевича соответствует паспорту специальности 2.4.3 – Электроэнергетика. Диссертация выполнена соискателем самостоятельно на высоком научном уровне, имеет внутреннее единство, является завершенной научно-квалификационной работой.

Диссертационная работа Рудника Владимира Евгеньевича «Программно-технические средства моделирования в реальном времени фотоэлектрической солнечной электростанции в электроэнергетической системе» соответствует требованиям п. 2 «Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете», а ее автор, Рудник Владимир Евгеньевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.3 – Электроэнергетика (технические науки).

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета ДС.ТПУ.17 Национального исследовательского Томского политехнического университета и их дальнейшую обработку.

Дополнительный член диссертационного совета ДС.ТПУ.17,
доктор технических наук, профессор, профессор отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»


Букреев Виктор Григорьевич
«25» января 2024 г.

Почтовый адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30

Тел. +7 (3822) 701777 вн.т. 1991

E-mail: bukreev@tpu.ru

Подпись В.Г. Букреева заверяю:

Ученый секретарь Ученого совета

Национального исследовательского

Томского политехнического университета


Кулинич Екатерина Александровна