

ОТЗЫВ

официального оппонента **Суслова Константина Витальевича** 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

Актуальность темы диссертационной работы

В Российской Федерации, происходит активная интеграция в электроэнергетические системы (ЭЭС) генерирующих установок, функционирующих на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), особенно активно внедряются фотоэлектрические солнечные электростанции (ФСЭС). Для ФСЭС особенностью является их инверторное подключение, что отсекает прямое сопряжение с энергосистемой. Широкомасштабное внедрение ФСЭС с сетевыми инверторами (СИ) приводит к изменениям динамических свойств энергосистемы из-за особенностей функционирования СИ и его системы автоматического управления. Изучение и анализ таких особенностей возможен с помощью математического моделирования. Обычно для моделирования переходных процессов используются программные комплексы по расчету электромеханических переходных процессов. В таких программных комплексах для анализа переходных процессов в ЭЭС с ФСЭС разработаны и используются обобщенные математические модели ФСЭС. В диссертационной работе представлен анализ таких моделей ФСЭС, выявлены их особенности и упрощения, которые не позволяют воспроизводить полный спектр процессов при внедрении ФСЭС в слабые электрические сети.

В качестве решения обозначенных проблем автором достаточно обосновано предлагается альтернативный, всережимный вариант моделирования ФСЭС в ЭЭС, для более качественного решения проблем, связанных с функционированием ФСЭС в ЭЭС, в том числе в слабых сетях.

Актуальность темы диссертации также подтверждается интересом отечественных и зарубежных ученых к проблемам моделирования ФСЭС в ЭЭС, особенно в слабых электрических сетях.

Анализ содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 148 наименований. Работа представлена на 154 страницах машинописного текста, содержит 109 рисунков, 11 таблиц и 1 приложение. Диссертация соответствует паспорту специальности 2.4.3 – Электроэнергетика. Содержание автореферата полностью соответствует диссертационной работе.

Введение соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам, и раскрывает актуальность, цель, задачи работы, научную новизну, положения, выносимые на защиту, практическую значимость и апробацию результатов исследования.

В **первой главе** представлен подробный анализ влияния внедрения объектов генерации на базе возобновляемых источников энергии в России и мире, в частности ФСЭС. Выделены проблемы, которые связаны с их внедрением в ЭЭС. Обосновано, что основным способом анализа данных проблем, является математическое моделирование. Рассмотрены различные подходы к моделированию ФСЭС в ЭЭС с помощью программно-вычислительных (ПВК) и программно-аппаратных (ПАК) комплексов, отмечены их особенности и упрощения. В качестве альтернативного подхода предложено всережимное моделирование ФСЭС в ЭЭС.

Во **второй главе** на основании проведенного анализа перспективной конфигурации ФСЭС сформулированы основные положения концепции всережимного моделирования ФСЭС в ЭЭС. Согласно конфигурации ФСЭС, а также положениям концепции всережимного моделирования разработана структура средств её реализации.

В **третьей главе** представлены результаты разработки специализированного гибридного процессора (СГП) ФСЭС. Приведена верификация разработанных средств моделирования ФСЭС в сравнении с результатами моделирования, полученными с помощью ПАК. Помимо

сравнения созданных средств с моделями в ПАК, выполнено сравнение с натурными данными.

В четвертой главе проведен комплекс испытаний СГП ФСЭС в составе тестовой ЭЭС, разработанной на основе состава и топологии реальной энергосистемы, на базе Всережимного моделирующего комплекса реального времени ЭЭС (ВМК РВ ЭЭС). Было осуществлено несколько направлений исследований. Подробно рассмотрен вопрос воспроизведения колебаний режимных параметров с помощью разработанного СГП ФСЭС и представлены способы их демпфирования.

Заключение содержит сформулированные результаты диссертационной работы.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе Рудника В.Е., подкреплена обсуждением полученных результатов на 16 международных и всероссийских научно-технических конференциях. По теме диссертационной работы опубликовано 26 печатных работ, в том числе 6 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 6 статей в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus.

Автор достаточно корректно использует известные научные методы анализа, обобщения полученных результатов, выводов и достаточно точно использует их в своих предложенных решениях. Достоверность теоретических положений, представленных в работе, подтверждается экспериментальными данными, полученными автором.

Научная новизна диссертационной работы

Научная новизна диссертации заключается в предложенной концепции на основе комплексного подхода, которая позволяет для каждого аспекта решаемой сложной проблемы всережимного моделирования ФСЭС в ЭЭС, применять наиболее эффективные методы, способы и средства, агрегирование которых обеспечивают успешное решение проблемы,

связанной с выявлением колебаний режимных параметров при функционировании ФСЭС в слабых сетях.

В соответствии с предложенной концепцией разработана структура и принципы построения модели на базе специализированного гибридного процессора (СГП) ФСЭС.

Разработанная всережимная модель отличается от модернизированной обобщённой модели, наличием в своем составе важных элементов ФСЭС таких как, цепь постоянного тока, физическая модель СИ, быстрых контуров системы автоматического управления (САУ) СИ, в том числе блока фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) и контура управления током (КУТ).

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы

Выявлены причины существования проблемы моделирования ФСЭС в составе ЭЭС с помощью обобщенных математических моделей, особенно в случае их функционирования в слабых электрических сетях, заключающиеся в исключении динамики работы блока ФАПЧ, 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. Результаты диссертационной работы Рудника В.Е. использовались при реализации нескольких проектов РНФ.

Замечания по диссертации и автореферату

1. С помощью каких устройств был осуществлен физический уровень моделирование в СГП ФСЭС?
2. Каковы граничные значения мощности ФСЭС для тестовой электроэнергетической системы?

3. Термин всережимное моделирование обязывает ко многому. В частности, реализация всережимности СГП ФСЭС требует соответствия и согласования его характеристик с характеристиками других элементов электроэнергетической системы, которую следует рассматривать в целом. В работе описание такого согласования отсутствует.

4. В 4 главе диссертации отсутствуют конкретные рекомендации по выбору коэффициентов для регулятора с дополнительным субсинхронным демпфирующим управлением.

5. Не совсем понятно, что автор в данной работе понимает под термином “слабая электрическая сеть”. Что является критериями? Только ли по величине ОКЗ определяется “слабая” или “сильная” данная сеть?

6. Автор исследует в работе внутренний контур управления током (КУТ), в котором используется апериодическое звено. К сожалению, не приводится модернизированная автором схема, в которой бы было это схематически изображено. Имеется лишь рис. 1.17, на котором приводится не модернизированная (первоначальная) а схема.

Указанные замечания носят уточняющий характер и не снижают ценности работы, выполненной диссертантом.

Заключение

Диссертационная работа Рудника Владимира Евгеньевича на тему «Программно-технические средства моделирования в реальном времени фотоэлектрической солнечной электростанции в электроэнергетической системе» представляет собой законченное научно-квалификационное исследование, выполненное на современном научном уровне, в котором поставлена и решена важная задача, связанная с детальным моделированием ФСЭС в ЭЭС.

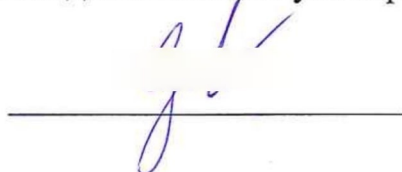
По актуальности, научной новизне, практической значимости, объему и уровню выполненных исследований, публикации результатов в научной печати диссертация Рудника В.Е. «Программно-технические средства моделирования в реальном времени фотоэлектрической солнечной электростанции в электроэнергетической системе» соответствует требованиям п. 2.1 Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете,

предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Рудник Владимир Евгеньевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.3 – Электроэнергетика.

Я, Суслов Константин Витальевич, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»,



Константин Витальевич Суслов
«25» января 2024 г.

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ». Адрес: 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14. Тел: (495) 362-72-51.

E-mail: dr.souslov@yandex.ru

Подпись Суслова К.В. заверяю:



Зачаститель НАЧАЛЬНИКА
ПЕРВОГО
И. ПОЛЕВАЯ