

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Направление подготовки/профиль 13.06.01 Электро- и теплотехника
2.4.3 Электроэнергетика

Школа Инженерная школа энергетики

Отделение Отделение электроэнергетики и электротехники

Научный доклад об основных результатах подготовленной
научно-квалификационной работы

Тема научного доклада
Программно-технические средства всережимного моделирования в реальном времени фотоэлектрической установки в электроэнергетической системе
<u>УДК. 621.383-047.58:621.311</u>

Аспирант

Группа	ФИО	Подпись	Дата
A9-42	Рудник Владимир Евгеньевич		

Руководитель профиля подготовки

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный руководитель ООП	Шутов Евгений Алексеевич	к.т.н., доцент		

Руководитель отделения

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
И.о. руководителя ОЭЭ ИШЭ	Разживин Игорь Андреевич	к.т.н.		

Научный руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Суворов Алексей Александрович	к.т.н.		

Томск – 2023 г.

Аннотация научно-квалификационной работы

В настоящее время во всём мире, в том числе в Российской Федерации, принят декарбонизированный вектор развития энергетического сектора, предполагающий широкомасштабную интеграцию в современные электроэнергетические системы (ЭЭС) низкоуглеродных и безуглеродных источников генерации, преимущественно функционирующих на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), особенно на базе солнечной генерации. В соответствии с отчетом международного энергетического сообщества прирост установленной мощности фотоэлектрических установок (ФЭУ), которые при объединении n-количества объектов образуют фотоэлектрические солнечные электростанции (ФСЭС), только за 2020 г. составил почти 140 ГВт, а общая установленная мощность приблизилась к отметке в 800 ГВт и превысила мощность ветроэнергетических установок (ВЭУ).

Для ФСЭС особенностью является их инверторное подключение, что отсекает прямое сопряжение с электроэнергетической системой. Широкомасштабное внедрение ФСЭС с инверторами, в основном функционирующих на базе статического преобразователя напряжения, принципиально изменяют динамические свойства энергосистем из-за особенностей функционирования инвертора и его системы управления по сравнению с традиционной генерацией:

- ограниченная выдача тока ФСЭС при КЗ приводит к существенному снижению напряжения и значительному уровню колебаний после снятия КЗ, также изменение величины тока КЗ может приводить к неправильной работе релейной защиты;

- увеличение скорости переходных процессов из-за уменьшения общей инерции энергосистемы, что может послужить причиной для неправильной работы противоаварийной автоматики;

- несогласованное действие системы управления ФСЭС с системами управления другого оборудования приводит к нарастающим колебаниям

режимных параметров после возмущений за счёт использования больших коэффициентов усиления;

- усугубление аварийной ситуации в ЭЭС ввиду несоответствия поведения ФСЭС требованиям их функционирования в аварийных режимах.

Обозначенные особенности приводят к существенному влиянию ФСЭС с инверторами на переходные процессы энергосистемы. Особенно остро стоит данная проблема, когда ФСЭС внедряются в так называемые слабые сети. Данные сети определены в соответствии с международной терминологией, и характеризуются наличием слабых электрических связей в своей топологии, малой мощностью традиционных источников генерации относительно суммарной мощности нагрузки, а при их проектировании в целом не предусматривалась возможность установки значительного объема возобновляемой генерации. Именно в таких сетях в последнее время по всему миру возникают незатухающие колебания, приводящие к нарушению устойчивости как в самих энергорайонах, так и распространяющиеся на целые энергообъединения.

Для решения обозначенных проблем, связанных с анализом переходных процессов в слабых сетях с ФСЭС, необходима полная и достоверная информация о процессах в ФСЭС и слабых сетях при различных режимах их работы. Из-за известной специфики ЭЭС возможность получения необходимой информации, натурным путем невозможна, посредством физического моделирования практически невозможна (что связано с проблемой создания физических моделей большого количества электрооборудования и много-узловых систем), поэтому основным доступным способом её получения является математическое моделирование. При исследовании устойчивости традиционных ЭЭС обычно используются программно-вычислительные комплексы, основанные на расчете электромеханических переходных процессов. В данных комплексах приходится прибегать к различного рода упрощениям моделей силового оборудования. Ключевым упрощением является, что в осциллограммах тока и

напряжения преобладает составляющая основной частоты равная величине 50 или 60 Гц. При таком подходе высокочастотные процессы не воспроизводятся. Однако для корректного моделирования ЭЭС, в которые внедряются ФЭУ с инверторным подключением, важно учитывать высокочастотные электромагнитные процессы, которые при традиционном численном подходе к моделированию обычно игнорируются. В связи с этим по мере распространения ФЭУ, их быстрая реакция будет оказывать всё большее влияние на динамику всей энергосистемы в целом, а использование традиционного подхода к моделированию реальных ЭЭС и игнорирование высокочастотных процессов будет приводить к росту погрешности расчётов или вовсе радикальным различиям.

Один из вариантов решения обозначенной проблемы является методологически альтернативный комплексный подход, представляющий из себя гибридное моделирование, позволяющее для каждой стороны решаемой сложной проблемы разрабатывать и применять наиболее эффективные методы, способы и средства, объединение которых обеспечивает успешное решение проблемы в целом.