

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



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Направление подготовки/профиль 13.06.01 Электро- и теплотехника,
05.14.02 Электрические станции и электроэнергетические системы
Школа Инженерная школа энергетики
Отделение Отделение электроэнергетики и электротехники

**Научный доклад об основных результатах подготовленной
научно-квалификационной работы**

Тема научного доклада
Разработка методов и средств настройки автоматических регуляторов возбуждения в условиях развития современных электроэнергетических систем

УДК 621.31:621.316.7

Аспирант

Группа	ФИО	Подпись	Дата
A8-42	Аскарров Алишер Бахрамжонович		

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
Руководитель ОЭЭ ИШЭ	Ивашутенко Александр Сергеевич	к.т.н.		

Научный руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Андреев Михаил Владимирович	к.т.н., доцент		

Аннотация научно-квалификационной работы

В настоящее время продолжается устойчивое развитие и усложнение современных электроэнергетических систем (ЭЭС): строятся и вводятся в эксплуатацию новые энергообъекты, а также идет переоснащение и модернизация уже используемых в настоящее время объектов. При этом появление новых видов установок требует более детальных исследований их влияния на динамику переходных процессов в ЭЭС во всех возможных режимах, как штатных, так и аварийных. Интеграция распределенной генерации на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в ЭЭС изменяет структуру генерирующих мощностей, внедрение гибких систем передач на переменном токе (ГСППТ) преобразует функцию электрической сети из существующей «пассивной» в «активную», что помимо прочего может приводить к проблемам режимного и противоаварийного управления ЭЭС, поскольку данные новые установки зачастую подключаются к электрической сети с помощью силовых преобразователей. В частности, могут ухудшаться динамические свойства ЭЭС, что становится причиной либо возникновения колебаний различной частоты даже в случае малых возмущений, либо ухудшения условий демпфирования колебаний, может возрасти опасность нарушения устойчивости параллельной работы электростанций или ЭЭС и дальнейшего каскадного развития аварийных процессов вплоть до полного разделения системы и отключения большого числа потребителей.

В связи с этим, возрастает роль систем автоматического регулирования возбуждения (АРВ) в обеспечении устойчивой работы ЭЭС, и, следовательно, возникает актуальная задача определения новых, адекватных реальным условиям настроек АРВ различного типа, обеспечивающих их эффективное функционирование в различных схемно-режимных ситуациях для сохранения устойчивости современных ЭЭС. Однако определение настроек АРВ является сложной комплексной задачей, решение которой в настоящее время осуществляется преимущественно с помощью математического моделирования. При этом математические модели реальных ЭЭС неизбежно

содержат жесткую, нелинейную систему дифференциальных уравнений высокого порядка, которая не может быть решена аналитически, а при использовании традиционных методов численного интегрирования для её решения существует ряд принципиальных проблем. Методологической альтернативой, позволяющей решить проблему достаточно полного и достоверного моделирования современных ЭЭС, является подход, представляющий собой гибридное моделирование. В диссертационной работе предлагается использовать основанный на концепции гибридного моделирования Всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетических систем (ВМК РВ ЭЭС), который, в силу своих свойств и возможностей, позволяет обеспечить получение полной и достоверной информации о нормальных и аномальных квазиустановившихся и переходных процессах в ЭЭС. Используя достаточно полную и адекватную математическую модель сложной ЭЭС, предоставляется возможность определения наиболее оптимальных параметров настройки АРВ для конкретных условий его реализации и функционирования, а также возможность формирования методики адекватной настройки устройств АРВ СГ.

Также в диссертационной работе проводится анализ существующих направлений развития в области как реализации самих устройств АРВ СГ, так и подходов к их настройке. В результате на основе обзора отечественной и зарубежной литературы сделан вывод, что широкомасштабное применение устройств АРВ нового типа с нелинейной структурой, реализованных на основе нечеткой логики или нейронных сетей, или регуляторов возбуждения с новыми каналами стабилизации или сигналами регулирования на текущий момент невозможно по ряду причин. Таким образом наиболее перспективным решением является достижение оптимальных параметров настройки АРВ СГ, адекватных реальным условиям их функционирования, которые обладают традиционной линейной структурой. В связи с этим необходимым становится совершенствование методики настройки АРВ СГ и средств ее реализации.

Необходимость использования ВМК РВ ЭЭС, выступающего в роли программно-аппаратного средства моделирования электромагнитных переходных процессов, для осуществления настройки АРВ СГ в условиях развития современных ЭЭС связана с необходимостью учета детальных моделей объектов ВИЭ и устройств ГСППТ в совокупной модели ЭЭС большой размерности, в которой также в виде детальных моделей воспроизводится значительное количество традиционного оборудования, в частности, синхронные генераторы электрических станций. Применение средств моделирования электромеханических переходных процессов связано с необходимостью использования только обобщенных моделей объектов ВИЭ и устройств ГСППТ, для которых спектр возможных рассматриваемых режимов и процессов весьма ограничен. В результате при использовании недостаточно адекватной и достоверной информации о режимах и процессах в ЭЭС при математическом моделировании невозможно обеспечить нахождение таких параметров настройки АРВ СГ, которые были бы оптимальны в широком многообразии схемно-режимных условий работы ЭЭС с ВИЭ и ГСППТ в целом.

На основании вышесказанного в диссертационной работе разработана концепция настройки АРВ СГ электрических станций с применением ВМК РВ ЭЭС, которая в общих словах подразумевает нахождение предварительных параметров настройки АРВ на линеаризованной модели ЭЭС с применением различных доступных методов (метод D -разбиения, корневого годографа, частотного анализа, роя частиц и т.д.) и средств их реализации по аналогии с традиционной методикой настройки, которые затем проверяются и при необходимости корректируются на динамической модели ЭЭС, в которой реализована совокупная модель ЭЭС с детальными моделями как синхронных генераторов электрических станций, так и объектов ВИЭ и устройств ГСППТ. Для достижения наиболее адекватных результатов моделирования с применением ВМК РВ ЭЭС, необходимых для настройки АРВ СГ, были разработаны программно-аппаратные средства моделирования энергоблока в

виде специализированного гибридного процесса, совместимого с ВМК РВ ЭЭС и содержащего в себе детализированные модели электрической машины с учетом возможности задания мультимассности вала, системы возбуждения, устройств АРВ любого типа и исполнения, первичного двигателя и его систем автоматического регулирования, нагрузки собственных нужд и силового блочного трансформатора (рисунок 1).

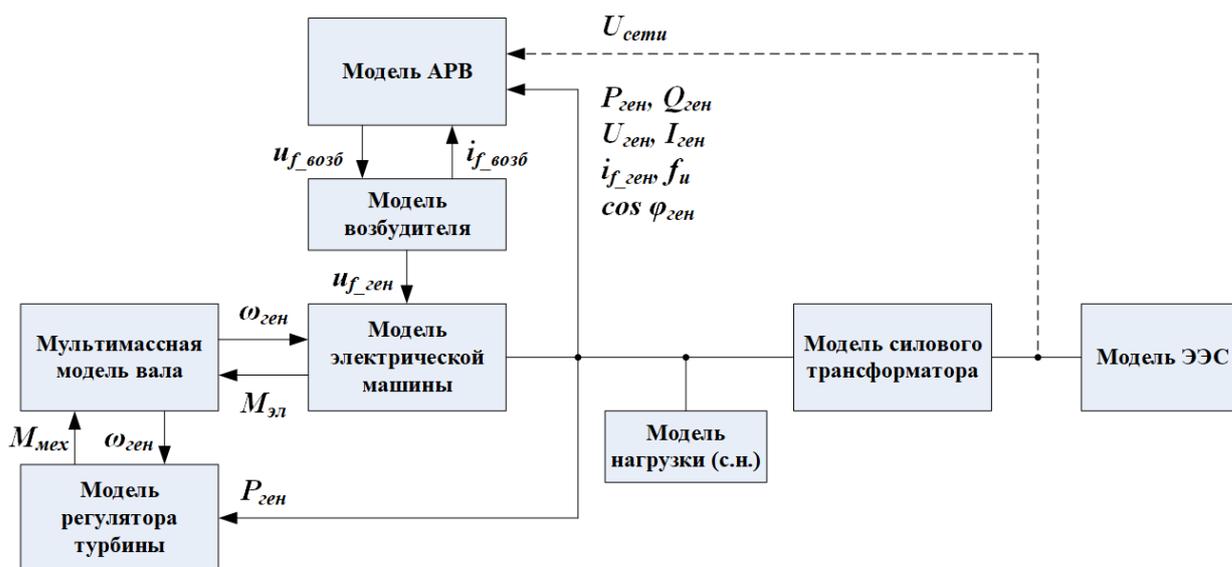


Рисунок 1 – Блок-схема модели энергоблока

При этом проведенная верификация разработанных средств гибридного моделирования энергоблока на основе сравнения с результатами моделирования, полученными с использованием коммерческого цифрового программно-аппаратного комплекса моделирования ЭЭС RTDS, показали высокую степень достоверности воспроизведения процессов в случае различных схемно-режимных условий работы энергоблока и возмущений в ЭЭС.

Также в диссертации сформированы положения методики настройки АРВ СГ электрических станций, основной вклад которых заключается в расширении рассматриваемого списка режимов и возмущений, которое основывается на необходимости рассмотрения дополнительных схемно-режимных условий при интеграции объектов ВИЭ и устройств ГСППТ в современные ЭЭС. Причем последнее обосновывается опытом эксплуатации объектов ВИЭ и устройств ГСППТ, который отражен в отечественных и

зарубежных источниках. В дополнение в методике при оценке качества выбранных параметров настройки АРВ предлагается использовать дополнительные критерии эффективности в виде совокупности интегральных показателей качества переходных процессов, которые позволяют сделать однозначный вывод о правильности и эффективности настройки АРВ СГ в целом.

Для доказательства эффективности предлагаемой методики была произведена экспериментальная настройка АРВ СГ электростанции на примере тестовой схемы ЭЭС большой размерности, которая была реализована на основе реального энергорайона Восточной Сибири. При этом с применением метода *D*-разбиения изначально были получены два набора параметров настройки каналов системной стабилизации АРВ: первый – в соответствии с классической методикой настройки АРВ, второй – согласно предлагаемой в диссертации методике. Далее в результате оценки качества заданных параметров настройки АРВ на динамической модели ЭЭС было получено, что второй набор параметров обеспечивает наименьшие значения амплитуды и времени затухания возникающих колебаний параметров электрического режима при возмущениях (рисунки 2–3), а также необходимые запасы колебательной и динамической устойчивости во всех рассматриваемых схемно-режимных условиях работы ЭЭС. Причем данный вывод был получен за счет анализа качества переходных процессов с помощью предлагаемых интегральных показателей, которые позволяют анализировать протекающие процессы в целом на заданном интервале времени. Также было выявлено, что при использовании первого набора параметров настройки АРВ возможно возникновение режимов с демпфированием послеаварийных электромеханических колебаний за время более 15 секунд, а также с наличием слабозатухающих колебаний параметров электрического режима. Таким образом подобные параметры настройки АРВ СГ могут быть признаны неэффективными и должна быть осуществлена их корректировка.

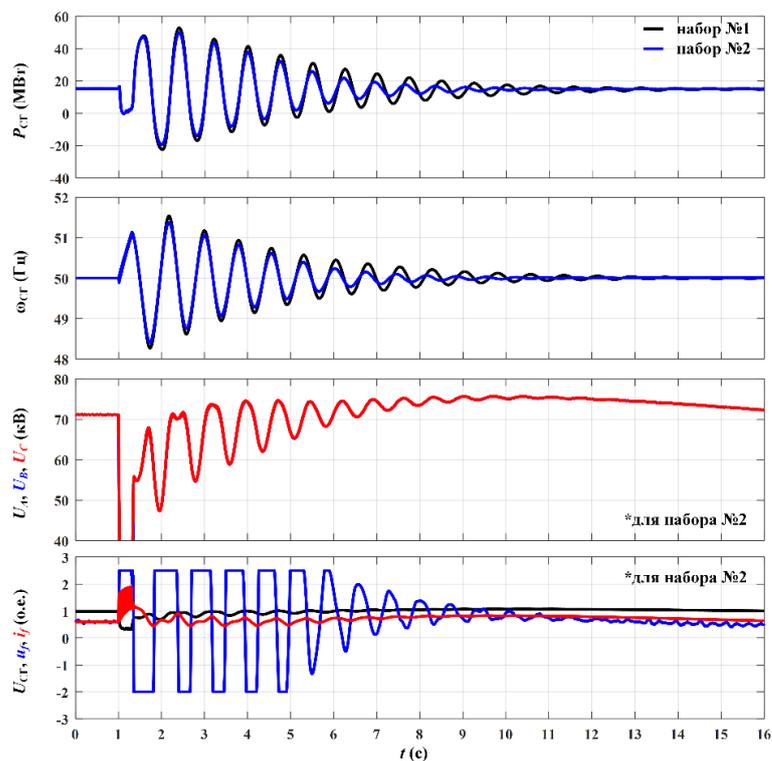


Рисунок 4.8 – Осциллограммы процессов в случае двухфазного КЗ с отключением от действия УРОВ при мощности ВИЭ равной 50% от установленной

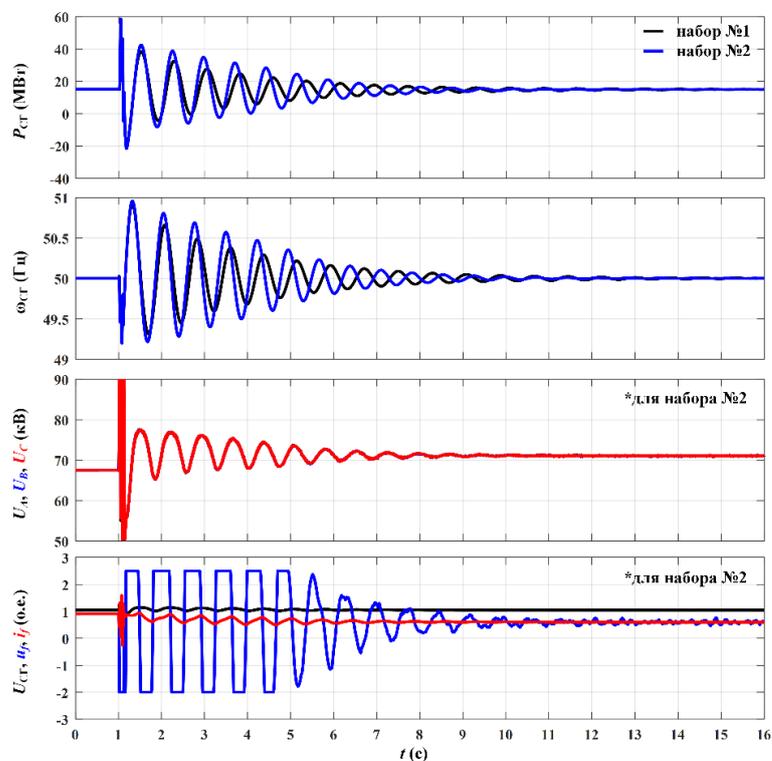


Рисунок 4.9 – Осциллограммы процессов в случае несинхронного включения ВИЭ при его мощности равной 100% от установленной

В то же время выбранные параметры настройки АРВ СГ, соответствующие второму набору параметров, обеспечивают эффективное демпфирование электромеханических переходных процессов на частоте колебаний ротора СГ и не приводят к нарушению устойчивости работы СГ по причине его раскачивания или взаимодействия с колебаниями, которые вызваны объектами генерации на базе ВИЭ или устройствами ГСППТ.