

ОТЗЫВ

официального оппонента

кандидата технических наук Наволочного А.А.

на диссертационную работу *КОРМИЛИЦЫНА Дмитрия Николаевича*

«Устойчивость регулируемой электроэнергетической системы

с управляемой линией электропередачи сверхвысокого напряжения»,

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук

по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

Актуальность избранной темы

В 2011 году по заказу Федеральной сетевой компании Единой энергетической системы была разработана концепция интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС). В документе подчёркивалась уникальность созданной более полувека назад Единой электроэнергетической системы (ЕЭС) России и до настоящего времени обеспечивающей рациональное использование энергетических ресурсов, распределённых по территории нашей страны. Вместе с тем, учитывая моральное и физическое старение оборудования, а также осуществлённую реструктуризацию электроэнергетики, отмечалась потребность в технологиях, обеспечивающих снижение издержек при производстве и передаче электроэнергии, особенно на высоком и сверхвысоком напряжении. Важная роль при этом отводится активно-адаптивной электрической сети, включающей, в том числе и линии электропередачи с управляемым изменением характеристик.

Следует заметить, что и до принятия данной концепции зарубежными и отечественными специалистами отмечалась нарастающая потребность в создании управляемых систем передачи переменного тока (зарубежный термин – FACTS). Так, среди основных проблем передачи электроэнергии в ЕЭС России ВНИИЭ рассматривал недостаточную пропускную способность ряда межсистемных и системообразующих линий электропередачи, слабую управляемость сети, недостаточную степень устойчивости некоторых объединённых энергетических систем (ОЭС); при этом в качестве основных задач, требующих комплексного и оптимального решения, были выделены: повышение пропускной способности линий электропередачи вплоть до теплового предела по нагреву, обеспечение устойчивой работы энергосистемы при различных возмущениях, обеспечение заданного распределения мощности в электрических сетях в соответствии с требованиями диспетчера, регулирование напряжения в сетях.

Перечисленные задачи на данный момент времени не потеряли свою значимость. Учитывая, что целью диссертационной работы заявлено повышение устойчивости электроэнергетической системы (ЭЭС) при внедрении в неё управляемых устройств, предназначенных для увеличения пропускной способности линий электропередачи высокого напряжения и обеспечения качества электрической энергии, избранная тема исследования представляется актуальной для электроэнергетики России.

Общая характеристика работы

Общий объём диссертации составляет 192 страницы. Работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, библиографического списка (включающего 156 источников) и трёх приложений.

Во введении обоснована актуальность и степень разработанности темы исследований; сформулированы цель и задачи работы; обозначены научная новизна, теоретическая и

практическая значимость результатов исследований; приведена информация об апробации результатов работы; отмечен личный вклад автора в выполненные исследования.

Первая глава посвящена формированию математической модели электроэнергетической системы с элементами управления режимами: управляемым устройством продольной компенсации (УУПК), управляемым шунтирующим реактором (УШР), автоматическим регулятором возбуждения генератора (АРВ). Приведены общие характеристики исследуемой системы. Дано описание математических моделей входящих в неё элементов: синхронных генераторов, трансформаторов, линий электропередачи, шунтирующих реакторов, устройств продольной компенсации, нагрузки; упрощённых систем автоматического регулирования возбуждения генераторов, систем управления устройствами продольной компенсации и шунтирующими реакторами. Приведена запись уравнений энергосистемы в компактной (матричной) форме, приведён алгоритм расчета переходных (электромагнитных и электромеханических) процессов и установившихся режимов энергосистемы.

Во второй главе выполнено исследование статической устойчивости управляемой энергосистемы. Исходно рассматривается математическая модель энергосистемы для расчетов установившихся режимов, приводятся особенности расчета установившихся режимов и угловых характеристик исследуемой системы. Путем утяжеления исходного установившегося режима определяется предел передаваемой мощности по условиям статической аperiodической устойчивости в рассматриваемой системе с УУПК и с различным количеством ступеней УШР. Сделан вывод о возможности расширения диапазона устойчивых режимов и улучшении аperiodической статической устойчивости за счет применения УУПК. Приведена оценка влияния коэффициентов регулирования УУПК на режимы и аperiodическую устойчивость системы. Указано, что при больших значениях коэффициента регулирования УУПК может возникать явление т.н. резонансного перехода; пояснена суть этого явления. Далее рассматривается колебательная устойчивость системы с УУПК и с различным количеством ступеней УШР. Оценка колебательной устойчивости выполнена методом D-разбиения по одному параметру – коэффициенту регулирования УУПК. В главе также проиллюстрировано влияние характеристик нагрузки (коэффициента мощности) и её мощности на устойчивость регулируемой системы.

Третья глава посвящена выбору коэффициентов регулирования автоматического регулятора возбуждения по условию сохранения колебательной устойчивости в сети с управляемой электропередачей. Рассмотрен совместный выбор коэффициентов регулирования АРВ, УУПК и УШР. Исследование проводится с использованием модели энергосистемы, учитывающей переходные процессы, путем инициирования в ней «малых» возмущений. Проанализировано влияние на устойчивость таких факторов как изменение значений коэффициентов АРВ генератора в смежной энергосистеме, изменение значений коэффициента регулирования УУПК, изменение характера и мощности нагрузки. В целом сделан вывод о том, что выбор коэффициентов АРВ сильного действия является многофакторной задачей, решение которой зависит от параметров системы в каждом конкретном случае.

В четвертой главе выполняется моделирование переходных процессов в исследуемой энергосистеме при «больших» возмущениях, приводится соответствующая (уточнённая) математическая модель рассматриваемой системы. Рассмотрены особенности расчета переходных процессов при «больших» возмущениях. Исследовано влияние УУПК на динамическую устойчивость и предложен выбор коэффициентов регулирования УУПК для повышения динамической устойчивости. Отмечено, что коэффициент регулирования УУПК

должен иметь максимально возможное значение, обеспечивающее быстрое затухание переходного процесса при наличии «больших» возмущений, с учетом ограничений по условию статической устойчивости режима; основным условием обеспечения динамической устойчивости является отстройка от резонансного перехода. В заключении сформулированы основные выводы и полученные результаты.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертационного исследования.

В приложения вынесены расчёты параметров элементов схемы замещения исследуемой электроэнергетической системы, а также аналитическая запись коэффициентов характеристических уравнений, используемых при анализе апериодической устойчивости этой системы.

Автореферат диссертации в достаточной мере раскрывает суть выполненной работы, её научные положения, выводы и рекомендации. Результаты исследований достаточно полно отражены в 25 печатных работах автора.

Содержание диссертационной работы соответствует формуле специальности 05.14.02 –Электрические станции и электроэнергетические системы, а также областям её исследования: п.6 («Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике») и п.7 («Разработка методов расчета установившихся режимов, переходных процессов и устойчивости электроэнергетических систем»).

Новизна сформулированных в диссертации научных положений, выводов и рекомендаций

К основным результатам диссертации, содержащим элементы научной новизны, следует отнести:

- 1) математические модели электроэнергетической системы, включающей две электрические станции с комплексом управляемых устройств, позволяющие проводить расчеты с целью анализа статической и динамической устойчивости;
- 2) методика определения областей устойчивости исследуемой ЭЭС при различной детализации математического описания в плоскостях и пространстве настроечных параметров УУПК, УШР и АРВ генераторов;
- 3) выбор законов регулирования УУПК и УШР и их настроечных параметров для улучшения статической и динамической устойчивости регулируемой ЭЭС;
- 4) результаты исследований на имитационных моделях влияния характеристик нагрузки на изменение настроечных параметров управляемых устройств и форму областей устойчивости;
- 5) методика исключения явлений нарушения колебательной статической устойчивости исследуемой ЭЭС при улучшении апериодической статической и динамической устойчивости с использованием УУПК, УШР и АРВ генераторов.

Степень обоснованности сформулированных в диссертации научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверность

Обоснованность и достоверность полученных результатов обеспечиваются корректностью принятых допущений; использованием известных положений и методов теории электромеханических переходных процессов в ЭЭС и теории автоматического управления; согласуемостью результатов диссертационной работы с результатами

исследований отечественных и зарубежных авторов; сопоставимостью результатов с использованием моделей различной степени детализации

Приведённые в диссертационной работе положения, выводы и рекомендации были опубликованы, прошли апробацию на международных конференциях.

Вопросы и замечания по диссертационной работе

1) В главе 1 приведен большой объем информации по моделированию элементов энергосистем, методам расчета установившихся режимов, статической устойчивости и электромеханических переходных процессов. Целесообразно было бы данный материал изложить более конкретно, делая акцент на особенностях используемого в работе математического описания.

2) Требуется пояснить, с какой целью в модели энергосистемы реализована возможность моделирования электромагнитных переходных процессов. Общепринятым подходом для исследования устойчивости является моделирование энергосистем с учетом только электромеханических переходных процессов. Это позволило бы значительно упростить модель, поскольку статорные цепи генераторов и сетевые элементы в этом случае могли бы быть описаны системой алгебраических, а не дифференциальных уравнений.

3) В работе рассмотрены упрощенные законы регулирования АРВ генераторов, регуляторов УУПК и УШР. Может ли повлиять изменение (усложнение до реально применяемых) моделей регуляторов на полученные в работе качественные результаты?

4) Исследования проведены применительно к заданной (одной) модели энергосистемы при некоторых изменениях её параметров. Скажется ли на качественных результатах исследования изменение, например, соотношения мощностей генераторов в связываемых энергосистемах, введение статических или динамических зависимостей параметров нагрузки от частоты и напряжения?

5) Требуется пояснить принципиальные отличия модели исследуемой энергосистемы, принятой в рецензируемой работе, от моделей в работах этого направления.

6) Представляется, что для выполнения диссертационных исследований могли бы быть использованы широко распространённые программные комплексы расчета электрических режимов (например, RastrWin, PSS/e). Чем обусловлена необходимость разработки собственной расчетной программы? Выполнялась ли верификация реализованных методов расчета?

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении учёных степеней

Диссертационная работа КОРМИЛИЦЫНА Дмитрия Николаевича соответствует критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание учёной степени кандидата наук, установленным п. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (с изменениями от 21 апреля 2016 г. № 335):

– диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний – электроэнергетики;

– диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты,

свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку; в диссертационной работе приведены рекомендации по использованию полученных научных выводов;

– основные научные результаты диссертации опубликованы в пяти рецензируемых научных изданиях; также получены два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, приравняемые к публикациям в рецензируемых изданиях;

– на источники заимствования материалов, их авторов в диссертации приведены ссылки; автором указан личный вклад в выполненную научную работу.

Выводы

Диссертационная работа КОРМИЛИЦЫНА Дмитрия Николаевича «Устойчивость регулируемой электроэнергетической системы с управляемой линией электропередачи сверхвысокого напряжения», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук, является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития электроэнергетики.

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы; работа удовлетворяет критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание учёной степени кандидата наук.

Считаю, что КОРМИЛИЦЫН Дмитрий Николаевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Официальный оппонент
руководитель Центра моделирования
электроэнергетических систем
Департамента информационно-технологических
систем
ОАО «Всероссийский научно-исследовательский,
проектно-конструкторский и технологический
институт релестроения с опытным производством»
(ОАО «ВНИИР»)
кандидат технических наук, доцент
428024, г. Чебоксары, пр-т Ивана Яковлева, д. 4
Тел.: 8(8352)39-00-00; +7 919 671 27 17
e-mail: aanav@vniir.ru; aanav-vniir@yandex.ru

Наволочный Александр Альбертович

11 февраля 2019 года

Подпись Наволочного А.А. заверяю:
Председатель совета Директоров ОАО «ВНИИР»

Нудельман Года Семёнович

