УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе НГТУ

Заслуженный деятель науки РФ,

д.т.н., профессор

_____ Вострецов А.Г.

«27» 02 2018 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»

Диссертационная работа «Исследование электромеханической совместимости ветроэнергетической установки с автономной электроэнергетической системой» выполнена на кафедре «Системы электроснабжения предприятий».

В период подготовки диссертации соискатель Ачитаев Андрей Александрович обучался в очной аспирантуре и работал в должности ассистента на кафедре систем электроснабжения предприятий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет».

В 2014 г. соискатель Ачитаев А. А. окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет».

Справка об обучении в аспирантуре и сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2018 г. в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

Научный руководитель – Удалов Сергей Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры систем электроснабжения предприятий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

По результатам рассмотрения диссертации «Исследование электромеханической совместимости ветроэнергетической установки с автономной электроэнергетической системой» принято следующее заключение:

1. Актуальность темы диссертационного исследования

Тема, выбранная соискателем для исследования, является актуальной и направлена на обеспечение электромеханической совместимости в автономных электроэнергетических системах с использованием ветроэнергетической установки с электромагнитным вариатором.

Актуальность исследования связана с расширением использования ветроэнергетических установок с синхронными генераторами с постоянными магнитами на территории России. В большей степени это вызвано значительной площадью не электрифицированных регионов страны и удорожанием привозного топлива. При построении автономных систем с ветроэнергетическими установками, возникает проблема обеспечения электромеханической совместимости при сильных возмущающих воздействиях со стороны турбины ветроэнергетической установки или нагрузки потребителя. Решение этой проблемы может быть реализовано путём стабилизации частоты вращения генератора, либо путем стабилизации частоты генерируемого напряжения при переменной частоте вращения ветровой турбины. В настоящий момент для реализации первого пути используют накопители энергии разной природы. Они выполняют роль демпферов и парируют влияние возмущающих

воздействий в автономных электроэнергетических системах. Ограниченное применение этих накопителей обусловлено их низкой удельной энергоёмкостью и ограниченным жизненным циклом. Для стабилизации частоты генерируемого напряжения при переменной частоте вращения турбины, в настоящее время, применяют полупроводниковые преобразователи со вставкой постоянного тока. Реализация таких устройств затруднена в связи с тем, что при снижении напряжения в автономной электроэнергетической системе при коротком замыкании, происходит блокировка транзисторов. Это приводит к прекращению выдачи активной мощности в автономную энергетическую систему.

Основным каналом управления скоростью ветроэнергетической турбины является изменение угла заклинения лопастей (управление моментом). Недостатком этого канала управления является его большая инерционность, которая не позволяет обеспечить регулирование скорости вращения ротора генератора при быстроизменяющихся электромеханических переходных процессах в автономной системе. Перспективным направлением построения ветроэнергетических систем в настоящее время является применение электромагнитных вариаторов в составе ветроэнергетических установок. Вариатор встраивается между ветровой турбиной и генератором. Быстродействующее изменение вращающего момента электромагнитного вариатора позволяет удерживать частоту вращения генератора.

Необходимость проведения комплексного исследования, затрагивающего изучение электромеханических переходных процессов в автономной электроэнергетической системы ветроэнергетическими установками с электромагнитным вариатором, указывают на актуальность темы диссертационной работы.

2. Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

Личный вклад соискателя состоял в подготовке аналитического обзора по тематике диссертационной работы, разработке динамических моделей и алгоритмов для исследования электромеханических переходных процессов в

автономных электроэнергетических системах с разным составом источников электрической энергии. Соискателем в соавторстве были опубликованы статьи в российских и зарубежных изданиях. Было проанализировано текущие состояние исследований по обеспечению электромеханической совместимости электрических генераторов. Также разработаны алгоритмы стабилизации скорости вращения ротора генератора для реализации функции центрального регулятора частоты в автономной системе и согласования фазы по ведущему генератору при параллельной работе разных видов источников с использованием электромагнитного вариатора при различных возмущающих воздействиях в автономной электроэнергетической системе.

3. Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность разработанных динамических моделей была подтверждена экспериментальными исследованиями макетного образца, что дает основания считать достоверными сформулированные законы управления и результаты моделирования электромеханических переходных процессов в автономной электроэнергетической системе.

Основные теоретические положения и результаты диссертационной работы были доложены на III и IV Международных технологических форумах «Инновации. Технологии. Производство» (Рыбинск, 2016 и 2017гг); X Международной научно-технической конференции «ЭНЕРГИЯ-2015» (Иваново, 2015г); XI Международном форуме по стратегическим технологиям IFOST-2016 (Новосибирск, 2016); XII Новосибирском инновационно-инвестиционном форуме «Инновационная энергетика» (Новосибирск, 2016); Всероссийской научной конференции с международным участием и на X молодежной школе «Возобновляемые источники энергии» (Москва, 2016); Международном военно-техническом форуме Армия 2017 (Москва, 2017); Всероссийском конкурсе инновационных проектов и разработок в области электроэнергетики «Энергопрорыв 2017» (Сколково, 2017); XI Международной IEEE научно-технической конференции «Динамика систем, механизмов и машин» (Омск, 2017).

По теме диссертационного исследования было опубликовано 25 работ, в том числе: 8 – статей в рецензируемых изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, 2 – патента РФ, 9 – статей, индексируемых в Scopus и Web of Science.

4. Научная новизна

Введено новое понятие эквивалентного угла ротора генератора, представляющий собой сумму углов, ротора быстроходного звена электромагнитного вариатора и угла корректировки за счет динамической связи ротора генератора и турбины. Данную корректировку предложено называть приведенным углом дополнительного рассогласования, и его определение возможно в разности угла быстроходного звена электромагнитного вариатора со стороны генератора, умноженного на его число пар полюсов и угла тихоходного звена вариатора, умноженного на число его ферромагнитных сегментов.

Подтверждено экспериментально, что приведенный угол дополнительного рассогласования можно измерять косвенным способом путем известных значений скоростей вращения турбины и генератора, а регулирование этого угла позволяет стабилизировать частоту вращения генератора изменением добавочного момента на валу генератора электромагнитным вариатором.

Сформулирована концепция комплексного управления скоростью вращения генератора на быстроходной стороне электромагнитного вариатора с использованием управления добавочным моментом электромагнитного вариатора и на тихоходной стороне турбины путем изменения угла заклинения турбины ветроэнергетической установки для обеспечения электромеханической совместимости с автономной электроэнергетической системой.

5. Практическая значимость

Разработанные соискателем в ходе исследований результаты, обладающие практической значимостью:

– предложена компоновка ВЭУ с электромагнитным вариатором позволяющая создать ВЭУ с повышенной регулировочной способностью;

– разработаны динамические модели электромагнитного вариатора в составе ВЭУ, позволяющие регулировать значение приведенного угла рассогласования ротора турбины и генератора;

– проведена верификация динамической модели электромагнитного вариатора на экспериментальном образце обеспечивает достоверность моделирования процессов приведенного рассогласования роторов турбины и генератора;

– разработаны алгоритмы управления ветроэнергетической установкой с электромагнитным вариатором, обеспечивающие стабилизацию скорости вращения ротора генератора при сильных возмущениях в автономной электроэнергетической системе.

Разработанные в диссертации технические решения были использованы при проектировании серийного образца ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения на базе электромагнитного вариатора в ООО «ЭКОФАКЕЛ» (г. Новосибирск) и АО «Сибирские приборы и системы» (г. Омск).

6. Ценность научных работ соискателя

Научные работы соискателя охватывают исследования и разработку динамических моделей и алгоритмов работы электромагнитного вариатора для ветроэнергетических установок с синхронными генераторами с постоянными магнитами, позволяющих повысить качество и надежность функционирования автономной электроэнергетической системы, улучшить условия безопасности эксплуатации и увеличить срок службы генераторов.

7. Специальность, которой соответствует диссертация

Диссертационная работа Ачитаева А.А. по своему содержанию соответствует специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы» и направлена на разработку методов анализа и синтеза систем автоматического регулирования скорости вращения генераторов ветроэнергетических установок с использованием электромагнитного вариатора для обеспечения режимной надежности при различных возмущающих

воздействиях в автономной электроэнергетической системе. Диссертационная работа соответствует пунктам 6 «Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике» и 9 «Разработка методов анализа и синтеза систем автоматического регулирования, противоаварийной автоматики и релейной защиты в электроэнергетике» и является научной квалификационной работой, отвечающей и соответствующей требованиям положений ВАК РФ о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук.

8. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Основные положения диссертации достаточно полно изложены в следующих опубликованных работах.

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК:

1. A. A. Achitaev. Increasing the regulating ability of lift force in the power-limited mode of wind turbines based on plasma technology / A. A. Achitaev, S. N. Udalov, R. D. Tarbill // Wind Engineering. - 2017. - Vol. 41, iss. 1. - P. 91-100.

2. А. А. Ачитаев. Исследование режимов работы ветроэнергетической установки на базе электромагнитной трансмиссии в составе автономной системы электроснабжения / С. Н. Удалов, А. А. Ачитаев, М. С. Юманов // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. - 2015. - № 5. - С. 32-35.

3. А. А. Ачитаев. Исследование магнитной трансмиссии с переменным передаточным отношением в ветроэнергетической установке в целях повышения запаса динамической устойчивости / С. Н. Удалов, А. Г. Приступ, А. А. Ачитаев // Известия Томского политехнического университета. - 2015. - Т. 326, № 10. - С. 123-132.

4. А. А. Ачитаев. Повышение запаса динамической устойчивости автономной энергетической системы на базе ветроэнергетических установок при

резких изменениях режима нагрузки / С. Н. Удалов, А. А. Ачитаев, А. Г. Приступ, Б. М. Боченков // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. - 2016. - Т. 327, № 8. - С. 89–98.

5. A. A. Achitaev. Powers adjusting wind turbine means investigation = Исследование средств повышения регулирования мощности ветровой турбины / S. N. Udalov, N. V. Zubova, A. A. Achitaev // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии = Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. - 2017.- Т. 10, № 5. - С. 664-681.

6. А. А. Ачитаев. Повышение регулировочной способности ветроэнергетической установки в составе локальной энергосистемы / А. А. Ачитаев, С. Н. Удалов, А. Г. Приступ, Б. М. Боченков // Энергобезопасность и энергосбережение. - 2017. – №. 3. – С. 33-40.

7. А. А. Ачитаев. Повышение эффективности ветроэнергетической установки путем использования псевдопрямого привода / А. А. Ачитаев, С. Н. Удалов, А. Г. Приступ, Д. М. Топорков // Энергобезопасность и энергосбережение. - 2017. - № 5. - С. 59-63.

8. А. А. Ачитаев. Технология повышения регулировочной способности подъёмной силы в режиме ограничения мощности ветровой турбины средствами плазменной технологии/ Удалов С. Н., Манусов В. З., Ачитаев А. А.//Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – №. 4.

Материалы международных и всероссийских конференций:

9. Structural model of a magnetic coupling / Sapsalev, A.V., Achitaev, A.A., Bogdanov, V.V., Savin, N.P., Davydenko, O.B. //Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, 2016 17th International Conference of Young Specialists on. – IEEE, 2016. – P. 555-558.

10. Improving dynamic stability of a wind turbine using a magnetic continuously variable transmission/ Udalov S. N., Achitaev A. A., Pristup A. G.//Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics), 2016. – IEEE, 2016. – P. 1-4.

11. Investigations of a magnetic gear for application in wind turbines/ Udalov S. N., Achitaev A. A., Pristup A. G.//Strategic Technology (IFOST), 2016 11th International Forum on. – IEEE, 2016. – P. 166-171.

12. Structural model of a magnetic gearbox/ Sapsalev, A.V., Achitaev, A.A., Pristup, A.G., Savin, N.P., Kharitonov, S.A. //Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM), 2017 18th International Conference of Young Specialists on. – IEEE, 2017. – P. 568-571.

13. Innovative Means of Increasing the Adjustment Ability of Wind Turbine/ Zubova N.V., Udalov S.N., Achitaev A.A. //Applied Mechanics and Materials. – Trans Tech Publications, 2015. – T. 698. – P. 592-596.

14. Increase Adjustment Capacity Generators for Power Supply Systems with Distributed Generation / Udalov S.N., Achitaev A.A., Yumanov M.S. //Applied Mechanics and Materials. – Trans Tech Publications, 2015. – T. 792. –P. 62-66.

15. Using a magnetic continuously variable transmission for synchronization of wind turbine generators under a variable wind speed / A. A. Achitaev, S. N. Udalov, A. G. Pristup, B. M. Bochenkov, Y. V. Pankratz // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics), Omsk, 14–16 Nov. 2017. – IEEE, 2017. – P. 1-6.

16. Increasing the regulating ability of wind turbines based on jet drive / A. A. Achitaev, S. N. Udalov // 12 International forum on strategic technology (IFOST 2017) : proc., Korea, Ulsan, 31 May – 2 June 2017. – Ulsan, 2017. – Vol. 1. – P. 273-276. - ISBN 978-1-5090-5703-0.

Патенты:

17. Пат. 145935U1 РФ: Электрический генератор для ветроэнергетической установки авторы: Ачитаев А.А., Пчелинцев А.С. Патентообладатель: Ачитаев Андрей. Дата выдачи 23 декабря 2014.

18. Пат. 2592641 РФ: Электромеханическая система Авторы: Ачитаев А.А., Удалов С.Н., Юманов М.С., Пчелинцев А.С.№ 2015126013.

19. Пат. 168788 РФ: Устройство генерирования стабильного напряжения переменного тока. Патентообладатели: Ачитаев А. А, Жарков М. А, Сапсалев А. В, Харитонов С. А.

9. Общее заключение

Диссертация Ачитаев Андрея Александровича «Исследование электромеханической совместимости ветроэнергетической установки с автономной электроэнергетической системой» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему. При выполнении диссертационной работы Ачитаев А. А. проявил себя зрелым научным работником, способным ставить и решать сложные задачи в области электроэнергетики и проводить вычислительные эксперименты. Диссертация Ачитаева А. А. «Исследование электромеханической совместимости ветроэнергетической установки с автономной электроэнергетической системой» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Заключения принято на расширенном заседании кафедры систем электроснабжения предприятий Новосибирского государственного технического университета.

На заседании присутствовало 16 человек. Результаты голосования: «за» - 16 чел., «против» - нет, «воздержалось» - нет, протокол № 2 от «05» февраля 2018 г.

Павлюченко Дмитрий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой систем электроснабжения предприятий

(подпись)

Любченко Валентина Яковлевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры систем электроснабжения предприятий, ученый секретарь кафедры

(подпись)

подпись Павлюченко Д.А., Любченко В.Я.
заверяю. Начальник отдела кадров О. К. Пустовалова