

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, доцента
Зубкова Юрия Валентиновича
на диссертационную работу Котова Антона Андреевича
**«Проектирование и анализ асинхронизированного синхронного генератора
для ветроэнергетических установок большой мощности»**,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности
05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты

Диссертационная работа Котова А.А. посвящена разработке основ проектирования и анализа электрических генераторов в составе ветроэнергетических установок, что на современном этапе частичной замены производства электрической энергии на базе углеводородного сырья нетрадиционными источниками в Российской Федерации является весьма важным направлением развития энергетики.

Актуальность темы

Развитие альтернативной энергетики включено в стратегические инициативы Российской Федерации и в направления приоритетного развития страны. Кадастры ветров многих регионов России показывают, что ветровой потенциал может успешно конкурировать с солнечной энергетикой и биогазом. В последнее время ветроэнергетика в стране начала интенсивно развиваться. Применение машин двойного питания в ветроэнергетике признается перспективным, поскольку позволяет с минимальными потерями преобразовать нестандартную энергию ветрового потока при переменной скорости и направлении в стандартную электрическую энергию по частоте, амплитуде и фазе. Диссертация Котова А.А. направлена на разработку машин этого класса, поэтому следует признать актуальность и своевременность этих исследований.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 157 наименований, 5 приложений. Работа изложена на 173 страницах, из них 139 страниц основного текста, содержит 77 иллюстраций, 104 аналитических выражения, 5 таблиц.

В первой главе приводится анализ электрических машин различных типов применительно к генератору ветроустановок большой мощности. В качестве основного варианта для исследования соискатель выбирал асинхронизированный синхронный генератор (АСГ). Основанием для этого выбора является свойство машин двойного питания с минимально возможными потерями получать электрическую энергию со стандартизированными параметрами на выходе при изменении механической частоты вращения вала. В главе рассматриваются различные варианты бесконтактного токоподвода к вращающейся части АСГ, делается вывод о необходимости разработки системы проектирования таких генераторов, состоящей из подсистем анализа и синтеза.

Вторая глава посвящена разработке расчетной математической модели, в основу которой положен метод схем замещения. Такой подход обусловлен необходимостью максимального упрощения расчетной модели для включения ее в оптимизационные циклы. При разработке математической модели применен подход, основанный на использовании обобщенных переменных в качестве варьируемых параметров. Это существенно упростило выбор граничных значений независимых параметров оптимизации и сократило время оптимального поиска, так как наилучшие значения обобщенных переменных лежат в узких пределах. На основании этого подхода аналитически определены необходимые взаимосвязи, характеризующие электромагнитное состояние генератора.

В третьей главе соискатель разработал подсистему оптимизации геометрии генератора по выбранному критерию качества. Задача формируется в виде многомерной однопараметрической оптимизации, но при этом она разбивается на несколько оптимизационных уровней. Уровень определяется количеством фиксированных и изменяемых переменных. Такой подход позволил создать достаточно гибкую систему проектирования, которая способна реализовать большое количество проектных ситуаций в соответствии с конкретными требованиями технического задания заказчика.

Четвертая глава описывает подсистему анализа. В подсистему вошли электромагнитные и тепловые расчеты, которые взаимосвязаны. Электромагнитный анализ основан на применении метода конечных элементов. Основу теплового анализа составил комплекс Matlab Simulink, который реализует метод эквивалентных тепловых схем замещения совместно с вентиляционными расчетами. При этом решается связанная задача. Подсистема анализа построена на основе проверенных методик численного и аналитического описания электромагнитного и теплового полей, что снижает технические риски при разработке опытного образца.

В заключении подведены итоги проведенного исследования по созданию системы проектирования и анализа асинхронизированного синхронного генератора ветроэлектростанции, приведены основные выводы и результаты, намечены направления дальнейших исследований.

Научная новизна и теоретическая значимость

Применение обобщенных переменных используется в практике проектирования электрических машин, но для асинхронизированных синхронных генераторов этот подход в исследованиях применен впервые. Соискатель существенно переработал известные методы проектирования этого класса машин и на основе обобщенных переменных вывел новые взаимосвязи и характеристики. Разработанные модели являются цифровыми двойниками реального генератора, что является развитием теории машин этого класса. Проектная система для генераторов этого назначения является новой и вносит весомый вклад в методику проектирования машин двойного питания.

Практическая ценность результатов

Работа имеет конкретную практическую направленность – разработка системы проектирования ветрогенераторов большой мощности. Она является полезной для конструкторских отделов, занимающихся разработкой машин двойного питания. Декларируемый подход по созданию цифровых моделей можно применить для анализа электрических машин других типов.

Рекомендации по использованию результатов работы

В рамках поставленных задач соискатель создал систему проектирования и анализа генераторов двойного питания для ветроагрегатов. Она может быть использована в проектных подразделениях как готовый программный продукт и в перспективе составить основу для сквозного проектирования авсинхронизированных синхронных машин других назначений.

Целесообразно применить разработанные методики в учебном процессе для подготовки инженеров по профилю «Электромеханика».

Достоверность результатов работы

В исследованиях применены известные и хорошо зарекомендовавшие себя методы анализа и синтеза. Система проектирования реализована на реальных проектах, результаты которых приведены в приложении к диссертации. Это позволяет сделать вывод о достоверности полученных результатов.

Соответствие паспорту специальности

Диссертация решает важные задачи электромеханики и полностью соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности: п. 1 «Анализ и исследование явлений, лежащих в основе функционирования электрических, электромеханических преобразователей энергии и электрических аппаратов», п. 3 «Разработка методов анализа и синтеза преобразователей электрической и механической энергии», п. 5 «Разработка подходов, методов, алгоритмов и программ, обеспечивающих проектирование, надежность, контроль и диагностику функционирования электрических, электромеханических преобразователей и электрических аппаратов в процессе эксплуатации, в составе рабочих комплексов».

Апробация диссертации и публикации

Требования по представлению основных результатов для обсуждения в научном сообществе выполнены соискателем в полной мере. Работа представлена в публикациях базы РИНЦ, Scopus и журналах, рекомендованных ВАК. Результаты исследований были доложены на конференциях различных уровней. Имеется публикация с открытым доступом в научном издании Великобритании.

Автореферат соответствует предъявляемым к нему требованиям по объему и содержанию.

Вопросы и замечания по работе

По работе имеется ряд вопросов и замечаний, по которым необходимо дать комментарии и пояснения.

1. На мой взгляд, научная новизна диссертационного исследования должна быть кратко и ясно сформулирована по пунктам. Техническое решение о встраивании аккумуляторной батареи (АКБ) во вращающийся индуктор АСГ не является научной новизной.

2. Размещение АКБ и инвертора на роторе, как указывает автор, перспективно для вертикальных ВЭУ малой мощности. Работа посвящена синтезу и анализу АСГ для ВЭУ большой мощности. Тогда АКБ на индукторе не актуальна для решения поставленных в диссертации задач? Не освещены способы управления вращающимся инвертором?

3. В выводах к главе 1 утверждается, что АСГ позволяет генерировать стандартную энергию при неподвижном роторе. Это не соответствует действительности. В этом случае энергия трансформируется из цепи ротора в цепь статора без преобразования из одного вида в другой.

4. Как понимать утверждение, что «...выбор КПД в качестве критерия оптимальности достаточно сложен, поскольку КПД электрической машины имеет связи с габаритами активных частей»? (гл.2)

5. Не ясно, что имеет в виду автор, называя выражения (2.86-2.89) активной и реактивной мощностью **источников** якоря и индуктора? Не пояснено наличие в этих формулах множителя $3/2$.

6. Формула 2.101 содержит ошибку в слагаемом для электрических потерь в обмотке ротора и почему-то не относит к тепловым потерям потери в стали и механические.

7. Глава 3 содержит 8,5 стр. текста и в таком виде не может претендовать на полноценную часть диссертационного исследования. Можно было бы дополнить этот материал исследованием стратегии и тактики

оптимизации с просмотром поверхностей отклика на примере реализации оптимального поиска в конкретной проектной ситуации.

8. В гл.4 сказано, что программы Matlab Simulink, Vissim, используемые соискателем при анализе динамики АСГ и базирующиеся на применении схем замещения, «позволяют производить точные расчеты электрических машин». На этот счет есть большие сомнения, во-первых, и как оценивалась точность расчетов, во-вторых?

9. При реализации системы синтеза и анализа АСГ использовалась приближенная модель теплового расчета. Верифицировалась ли она МКЭ или экспериментом?

10. В п.1. Заключения указано «Преобразование идет по цепи возбуждения, что позволяет снизить габариты и стоимость электронного оборудования». Не совсем понятен смысл, хотелось бы более четкой формулировки.

11. В приложении приведены временные зависимости ЭДС и тока генератора при неизменной частоте вращения. Не ясно, почему амплитуда этих величин изменяется?

Решение данных вопросов и устранение замечаний могло бы способствовать повышению теоретической значимости и практической ценности проведенных исследований.

Заключение по диссертации

Диссертационная работа на тему: «Проектирование и анализ асинхронизированного синхронного генератора для ветроэнергетических установок большой мощности» является законченной научно-квалификационной работой, в которой представлено решение актуальной задачи по разработке системы проектирования и анализа генератора для ветроэнергетической установки.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней УрФУ.

Котов Антон Андреевич заслуживает присвоения ученой степени **кандидата технических наук** по специальности 05.09.01- «Электромеханика и электрические аппараты».

Официальный оппонент, доктор технических наук (05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты), профессор кафедры электромеханики и автомобильного электрооборудования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет»



— Зубков Юрий Валентинович

28.04.2021

г. Самара, ул. Первомайская, 18, каб. 134,

Тел.: +7(846) 242-37-90

e-mail: zub577@mail.ru

Я, Зубков Юрий Валентинович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку

Подпись Зубкова Ю.В. заверяю:

Ученый секретарь ФГБОУ ВО

«Самарский государственный технический университет»



Ю.А. Малиновская