

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
**«Петербургский государственный
университет путей сообщения
Императора Александра I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)**

Московский пр., д.9 Санкт-Петербург, 190031
Телефон: (812) 457-86-28, факс: (812) 315-26-21
E-mail: dou@pgups.ru; <https://www.pgups.ru>
ОКПО 01115840, ОГРН 1027810241502,
ИНН 7812009592/ КПП 783801001

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор – проректор по
научной работе, доктор технических
наук, профессор



Титова Тамила Семеновна

На №

от

«07» 11 2024 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Петербургский государственный университет путей сообщения Императора
Александра I» на диссертацию **Чуприны Николая Валентиновича**
**«Система прямого управления моментом тягового синхронного двигателя
локомотива с минимизацией тока обмотки статора»,**
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы

Актуальность темы исследования

Применение двигателей переменного тока в составе тягового электропривода железнодорожного транспорта позволяет увеличить мощность электропередачи, уменьшить массогабаритные показатели, значительно повысить надёжность в эксплуатации и упростить обслуживание. Наряду с этим повышение энергетической эффективности тяговых электроприводов и их тяговых характеристик происходит и за счет системы и алгоритмов управления. Синхронные двигатели с постоянными магнитами обладают одними из лучших электромеханических и энергетических характеристик из всех применяемых на подвижном составе двигателей переменного тока. Разработка тягового электропривода, содержащего синхронный двигатель с постоянными магнитами, управляемый системой прямого управления моментом, которая обеспечивает поддержание минимума тока обмотки статора, является одним из способов, направленных на решение актуальной задачи уменьшения доли топливно-энергетических ресурсов в себестоимости транспортно-логистических услуг, поставленной ОАО «РЖД».

Оценка структуры и содержания работы

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения с основными результатами и выводами, списка литературы из 143 наименований, двух приложений и содержит 170 страниц основного текста, 84 рисунка и 13 таблиц.

Содержание диссертации соответствует заявленной цели и поставленным задачам.

Во введении обоснована актуальность темы исследования и представлена ее проработанность, сформулированы цель и задачи работы, объект и предмет исследования, методы исследования, научная новизна, достоверность, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приводятся сведения о реализации и апробации работы.

В первом разделе определены основные направления развития тягового электропривода железнодорожного транспорта, выполнен анализ тяговых электроприводов, применяемых на железнодорожном транспорте. Исследован опыт практического применения синхронных двигателей на транспорте. Проведен анализ систем управления электроприводов переменного тока.

Во втором разделе представлены общие положения теории преобразования энергии в электрических машинах переменного тока. Разработаны математические модели, описывающие преобразование энергии в синхронных и асинхронных двигателях. Представлено влияние температуры на параметры эквивалентных схем замещения синхронных двигателей с постоянными магнитами и асинхронных двигателей.

В третьем разделе представлены особенности реализации системы прямого управления моментом от способа коммутации автономного инвертора напряжения. В результате компьютерного моделирования получены и представлены энергетические характеристики электропривода с системой прямого управления моментом синхронного двигателя с постоянными магнитами. При помощи компьютерного моделирования и лабораторной установки получены и представлены энергетические характеристики электропривода с системой прямого управления моментом асинхронного двигателя.

В четвертом разделе были выведены аналитические формулы задания на потокосцепление статора, которые базируются на параметрах эквивалентной схемы замещения. Синтезирована математическая модель и алгоритм работы системы поиска минимума тока обмотки статора. Представлены результаты моделирования электропривода с полученными системами управления.

Каждый раздел заканчивается выводами и рекомендациями по использованию полученных результатов.

В приложениях приведена информация о патенте на полезную модель и актах внедрения результатов исследования.

Диссертация удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям, представленным на соискание ученой степени кандидата технических наук, структура диссертации и ее содержание находятся в логическом единстве, соответствуют целям и задачам исследования. В рамках поставленной цели и решения задач диссертация представляет собой законченное научное исследование.

Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и теме диссертации

Содержание диссертации соответствует формуле и пунктам 1 и 3 области исследований согласно паспорту специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы: п. 1 «Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, анализ системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем, включая электромеханические, электромагнитные преобразователи энергии и электрические аппараты, системы электропривода, электроснабжения и электрооборудования промышленного назначения»; п. 3 «Разработка, структурный и параметрический синтез, оптимизация электротехнических комплексов, систем и их компонентов, разработка алгоритмов эффективного управления».

Соответствие автореферата диссертации ее содержанию

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию и отражает ее научную новизну и практическую значимость, а опубликованные соискателем работы полностью раскрывают основные положения диссертационного исследования.

Личный вклад соискателя в получение результатов исследования

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации, состоит в постановке и разработке путей решения всех задач исследования, реализуемых в рамках диссертации, личном выполнении ключевой роли на всех этапах исследования и интерпретации полученных результатов, участии в подготовке научных публикаций. Основные положения диссертационного исследования были доложены соискателем на международных научно-практических конференциях. Диссертационное исследование опирается на большой фактический материал, собранный и обработанный автором.

Степень достоверности результатов исследования

Достоверность результатов диссертации подтверждается корректностью использованного математического аппарата; использованием современных методов исследования, которые соответствуют поставленным в работе целям и

задачам; адекватностью результатов математического моделирования и экспериментальными данными; результатами научных исследований отечественных и зарубежных ученых по сходной тематике, широкой публичной апробацией полученных результатов и основных положений, выносимых на защиту.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором диссертации результатов

- разработанные математические модели позволяют исследовать электромеханические характеристики и изменение энергетических параметров в установившихся и переходных режимах для электроприводов с различными вариантами системы прямого управления моментом и синхронных двигателей с постоянными магнитами;
- проведены исследования энергетических характеристик электроприводов с системой прямого управления моментом синхронных двигателей с постоянными магнитами, которые показали, что регулирование потокосцепления статора в наибольшей степени влияет на величину тока обмотки статора синхронных двигателей с постоянными магнитами с магнитной несимметрией;
- полученные аналитические зависимости задания на потокосцепление статора от параметров эквивалентной схемы замещения синхронных двигателей с постоянными магнитами и поисковый метод определения задания на потокосцепление статора обеспечивают работу электропривода в режиме минимум тока обмотки статора при различных нагрузках.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные результаты диссертации целесообразно использовать при создании новых тяговых электроприводов маневровых локомотивов с синхронными двигателями с постоянными магнитами, управляемыми системой прямого управления моментом с одним контуром регулирования момента (реализация системы прямого управления моментом, предложенной в подразделе 3.2 диссертации) и системой поиска минимума тока обмотки статора (математическая модель и алгоритм этой системы представлены в подразделе 4.2); при создании тяговых электроприводов высокоскоростных локомотивов (или электропоездов) с синхронными двигателями с постоянными магнитами, управляемыми системой прямого управления моментом с двумя контурами регулирования потокосцепления статора и системой определения рационального значения потокосцепления статора по аналитическим выражениям (вывод этих формул для двигателей с магнитной симметрией и несимметрией представлен в подразделе 4.1). Также представляется интересным модернизация тяговых электроприводов уже эксплуатируемого подвижного состава с асинхронными

двигателями с преобразователями частоты за счет внедрения системы прямого управления моментом и системы поиска минимума тока обмотки статора, т.к. при пониженных нагрузках возможно увеличение энергетической эффективности. Разработанную лабораторную установку и отдельные результаты теоретического исследования рекомендуется использовать в учебном процессе.

Новизна полученных результатов

Научная новизна заключается в следующем:

- получены дифференциальные уравнения и эквивалентная схема замещения синхронного двигателя с постоянными магнитами в системе координат $d-q$, отличающиеся учетом потерь мощности в магнитопроводе статора и постоянных магнитах, насыщения магнитопровода статора, температур обмотки и магнитопровода статора и постоянных магнитов;
- показаны экстремальные зависимости тока обмотки статора синхронных двигателей с постоянными магнитами от потокосцепления статора; установлено, что двигателей с магнитной несимметрией регулирование потокосцепления статора приводит к изменению тока обмотки статора в большем диапазоне, чем для двигателей с магнитной симметрией;
- получены аналитические зависимости задания на потокосцепление статора от параметров эквивалентной схемы замещения синхронных двигателей с постоянными магнитами, обеспечивающие минимум тока обмотки статора при различных моментах сопротивления.
- разработан поисковый алгоритм определения минимума тока обмотки статора синхронных двигателей с постоянными магнитами в составе электропривода с системой прямого управления моментом.

Замечания по диссертационной работе

1. Учитывая то, что системы управления разработаны и апробированы для синхронных двигателей с постоянными магнитами, синтез математических моделей для синхронных двигателей с обмоткой возбуждения и демпферными обмотками во втором разделе представляется избыточным.
2. В тексте диссертации отсутствуют формулы или рекомендации по расчету (выбору) регуляторов потокосцепления статора и момента, приведенных на схемах (рисунки 3.5, 3.11, 3.13).
3. Количественные результаты моделирования электропривода, приведенные в таблице 4.1, было бы логично дополнить относительными значениями параметров (аналогично таблицам 3.3 и 3.4).
4. Автор рассматривает три варианта реализации системы прямого управления моментом и два типа синхронных двигателей с постоянными магнитами. В диссертации представлены рекомендации по выбору и использованию систем управления, но отсутствует заключение по выбору типа

синхронного двигателя с постоянными магнитами в качестве тягового.

5. Результаты моделирования переходных процессов в электроприводе, показанные в четвертом разделе, целесообразно дополнить спектральным анализом тока обмотки и потокоцепления статора.

6. Учитывая достаточно большой объем текста диссертации, представляется целесообразным введение сокращений и аббревиатур часто используемых терминов и определений.

7. Несмотря на высокое качество текста и графического материала, имеются замечания редакционного характера. Например, в п.5 выводов по разделу 3 слово «статор» написано два раза подряд; имеется несоответствие масштаба сетки графиков и значений по оси абсцисс на рисунках 4.15 (а) и 4.16 (а).

Отмеченные недостатки и замечания по работе не снижают ее общей положительной оценки и не влияют на основные теоретические и практические результаты диссертационного исследования

Заключение по диссертации о соответствии её требованиям Положения о присуждении ученых степеней

В соответствии с п. 10 «Положение о присуждении ученых степеней» диссертация написана Чуприной Н.В. самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку.

Теоретические и практические результаты, представленные в диссертации, являются новыми и значимыми, они убедительно аргументированы.

Диссертация Чуприны Николая Валентиновича «Система прямого управления моментом тягового синхронного двигателя локомотива с минимизацией тока обмотки статора» на соискание ученой степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения, направленные на увеличение энергетической эффективности тяговых электроприводов локомотивов с синхронными двигателями с постоянными магнитами, управляемыми системами прямого управления моментом с минимизацией тока обмотки статора, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, что соответствует требованиям п. 9 «Положение о присуждении ученых степеней», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Отзыв рассмотрен, обсужден и одобрен на заседании кафедры «Электрическая тяга» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»

(ФГБОУ ВО ПГУПС). Присутствовали на заседании 14 человек. Результаты открытого голосования: «за» – 14 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет. Протокол № 3 от 29 октября 2024 г.

Заведующий кафедрой
«Электрическая тяга», д.т.н., профессор



А. М. Евстафьев

Ученый секретарь кафедры
«Электрическая тяга», к.т.н., доцент



А.Е. Цаплин

Информация о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС)

Адрес: 190031, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9

e-mail: dou@pgups.ru

Телефон: +7(812)457-86-28

Факс: (812)315-26-21

Информация о лице, утвердившем отзыв ведущей организации: Титова Тамила Семёновна, доктор технических наук, профессор, первый проректор – проректор по научной работе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»

Сведения о согласии на обработку персональных данных:

«Я, Титова Тамила Семёновна, первый проректор – проректор по научной работе, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку».

Доктор технических наук, профессор



Титова Тамила Семеновна