

ОТЗЫВ

официального оппонента по диссертационной работе Лисова Андрея Анатольевича на тему: «Разработка и исследование системы электронного дифференциала для электроавтомобиля», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 «Электротехнические комплексы и системы».

На отзыв представлены:

1. Диссертация, состоящая из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 143 наименований и 6 приложений. Основная часть изложена на 102 страницах, содержит 57 рисунков и 9 таблиц.
2. Автореферат диссертации.

1. Актуальность темы

Настоящее исследование посвящено разработке системы электронного дифференциала (СЭД) на основе нейронных сетей (НС) для повышения эффективности и безопасности электротранспорта во время поворотов и манёвров. В рамках данного исследования была разработана физическая модель электромобиля, предложен метод обучения нейронной сети, а также осуществлён выбор и проектирование архитектуры. Проведённые исследования направлены на повышение эффективности и точности разработанной системы, также предложены практические рекомендации по её улучшению и интеграции в существующие системы помощи водителю и другие электротехнические комплексы.

2. Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация Лисова А.А. содержит введение, 4 главы, заключение и приложения.

Во введении представлены актуальность темы, цель, задачи и методы исследования, объект и предмет исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, положения, выносимые на защиту, а также сведения о степени достоверности и апробации результатов исследования.

В первой главе представлен обзор современных тенденций в автомобильной отрасли с акцентом на развитие электромобилей и беспилотных наземных транспортных средств. Анализируется компоновка тяговой системы электромобилей, включая основные компоненты и их взаимодействие. Представлены теоретические основы создания линейной и нелинейной систем управления, каждая из которых имеет свои ограничения и особенности применения в реальных условиях эксплуатации.

Вторая глава посвящена теоретическим аспектам разработки системы электронного дифференциала для управления электроавтомобилем на основе нейронной сети. Представлены математические модели линейной и нелинейной систем управления электроприводом, реализованные в среде Matlab/Simulink. Приведены математические выражения на основе модели семи степеней свободы для учёта влияния на автомобиль инерционных и аэродинамических сил при движении. Также рассмотрено влияние погодных условий на сцепление шин с дорогой и устойчивость автомобиля. Разработана

структурная схема управления электроавтомобилем системой электронного дифференциала, основанной на НС, учитывающая дополнительные факторы, влияющие на управление электроприводом.

В главе 3 описан процесс разработки, проектирования и изготовления физической модели электромобиля для получения экспериментальных данных, включающий: разработку функциональной и принципиальной схемы тягового электропривода электромобиля, выбор компонентной базы для разработки печатной платы, а также разработку управляющего программного обеспечения (ПО) для модели. В главе приведена методико-программная часть, содержащая в себе: разработку методики способа получения экспериментальных данных, анализ рекомендаций для создания набора обучающих данных, выбор типа наиболее подходящей нейронной сети для реализации СЭД и разработку программного обеспечения для обучения НС.

В главе 4 представлены результаты экспериментов по реализации модели электромобиля и тестирования разработанной системы электронного дифференциала как при помощи вычислительных тестов, так и на практике. Исследуется влияние параметров и гиперпараметров на точность прогнозирования нейронной сети, разработанной для системы электронного дифференциала. В результате проведённых экспериментов был установлен оптимальный размер выборки (batch size), выбрана функция потерь и метод градиентного спуска для рациональной архитектуры НС. Рассмотрены результаты обучения нейронной сети, её эффективность в управлении системой электронного дифференциала для электроавтомобиля. А также рассмотрены перспективы дальнейших исследований и использования разработанной системы электронного дифференциала на основе НС в автомобильной отрасли.

В заключении приведены основные выводы и результаты диссертационного исследования

3. Научные результаты работы и их новизна

1. Результаты анализа эффективности существующих систем управления тяговым электроприводом электроавтомобиля при поворотах и манёврах.

2. Физическая модель электроавтомобиля для получения экспериментальных данных, необходимых для обучения нейронной сети.

3. Методика получения экспериментальных данных, необходимых для обучения искусственной нейронной сети на основе идеальных кривых поворота и разработанной физической модели электромобиля.

4. Способ управления электроприводом электроавтомобиля при поворотах и манёврах, основанный на системе электронного дифференциала и нейронных сетях для варианта компоновки с двумя электродвигателями сзади.

5. Результаты сравнения эффективности существующих способов управления скоростью электропривода электроавтомобиля с разработанной системой электронного дифференциала на основе нейронной сети.

4. Основные практические результаты работы

1. Разработан способ управления электроприводом электроавтомобиля при поворотах и манёврах, основанный на СЭД и НС, позволяющий повысить эффективность управления транспортом.

2. Разработана методика получения экспериментальных данных для обучения искусственной нейронной сети для управления электроприводом электроавтомобиля при поворотах и манёврах.

3. Использование системы электронного дифференциала на основе нейронных сетей для электроавтомобилей и беспилотных наземных транспортных средств позволяет повысить безопасность транспорта на дорогах.

4. Разработанную СЭД для электропривода электроавтомобиля возможно адаптировать к различным дорожным условиям и стилю вождения в реальном времени, обеспечивая эффективное управление скоростью автомобиля.

5. Достоверность и обоснованность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность разработанной системы электронного дифференциала на основе искусственных нейронных сетей для электроавтомобилей подтверждается результатами проведенных исследований и экспериментов.

6. Апробация работы и публикации

В полном объёме работа докладывалась и обсуждалась на заседаниях кафедры: «Электропривод, мехатроника и электромеханика» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (Национальный Исследовательский Университет)», г. Челябинск. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на российских и международных научно-технических конференциях.

По материалам диссертации опубликованы 10 научных работ, из которых шесть в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, две работы – в изданиях, входящих в систему Scopus, получено свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ.

7. Замечания и дискуссионные положения

К диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. В диссертации автор рассматривает две компоновки электроавтомобиля – полноприводную и заднеприводную. Но сейчас большинство автомобилей выполняется с передним приводом, почему не рассматривалась переднеприводная компоновка?

2. Автор строит математические модели нелинейной СЭД при углах поворота 10 и 30 градусов. Математическая модель должна быть универсальной, применимой для любого угла, неправильно делать новую модель для каждого угла поворота руля.

3. В работе отмечается, что при скорости выше 50 км/ч наблюдается снижение качества управления, что ограничивает применение системы на высоких скоростях. При этом не объясняются причины ухудшения. Скорость 50 км/ч является достаточно низкой, следовало бы проанализировать

требования к быстродействию системы управления и мощности используемых контроллеров.

4. Для измерения ускорения и положения в пространстве автор использует специализированный датчик «MPU6050» в виде готового модуля с подключением к микроконтроллеру по интерфейсу I2C. Это последовательный интерфейс, достаточно медленный. Его использование не ухудшает динамические характеристики системы управления СЭД?

5. В диссертации указано, что время вычислений удалось снизить до 20 мс. Непонятно, это много или мало, достаточно ли этого? Не указано, какой микроконтроллер с какой тактовой частотой способен обеспечить такое время вычислений.

6. Имеется ряд замечаний к оформлению автореферата и диссертации. На стр. 7 автореферата приводятся ссылки на конструктивные постоянные транспортных средств (L , K , dr , r , lr), которые не расшифровываются. Рисунок 3 автореферата «Управляющий ШИМ-сигнал при соотношении плеч переменного резистора $1,5R / 1R$ » не несет никакой полезной информации. Данные, приведенные в таблице 1 «Экспериментальные данные, полученные с датчиков модели электромобиля», следовало бы привести в общепринятых физических единицах, а не в кодах АЦП. Рисунки 3.4 и 4.1 в диссертации одинаковы.

7. В диссертации на стр. 32 отмечается, что в системе не учитывается техническое состояние автомобиля (износ шин, весовые характеристики, люфты механизмов). Откуда может быть получена эта информация, возможно ли в принципе ее учитывать?

8. Непонятно, как тема гранта «Умник» связана с темой диссертации?

8. Общее заключение по диссертационной работе

Считаю, что несмотря на приведенные замечания, диссертация Лисова Андрея Анатольевича является законченной научно-квалификационной работой, обладающей признаками актуальности, новизны и практической значимости. В ней изложены новые, научно-обоснованные решения для практического применения системы электронного дифференциала, основанной на нейронных сетях, для электротранспорта.

Анализ диссертационной работы в целом позволяет сделать вывод о том, что содержание диссертации соответствует паспорту специальности 2.4.2 - «Электротехнические комплексы и системы». Автореферат диссертации правильно и полно отражает ее содержание.

Текст диссертации представляет собой самостоятельную научно-квалификационную работу. Диссертация «Разработка и исследование системы электронного дифференциала для электроавтомобиля» удовлетворяет требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук согласно п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 №842) с изменениями постановления правительства РФ от 21 апреля 2016 г. №335 «О внесении изменений в положение присуждения учёных степеней», а ее автор Лисов Андрей

Анатолевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 «Электротехнические комплексы и системы».

Официальный оппонент
доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой
электротехники и
электрооборудования предприятий
ФГБОУ ВО «Уфимский
государственный, нефтяной
технический университет»



31.01.2025

Хакимьянов Марат Ильгизович

Адрес: 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1 тел.: (347) 2420759; e-mail: joss-22@yandex.ru

Докторская диссертация Хакимьянова М.И. защищена по специальности 05.09.03 - Электротехнические комплексы и системы.

Подпись Хакимьянова М.И. заверяю,
проректор по научной и
инновационной работе, д.т.н., проф.



И.Г. Ибрагимов