

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Орла Егора Олеговича на тему: «Повышение энергетической эффективности систем тягового электропривода автономных транспортных средств» по специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы», на соискание учёной степени кандидата технических наук

Актуальность темы исследования

Современные тенденции к энергосбережению во всех отраслях промышленности особенно в такой энергоемкой отрасли как электротранспорт, диктуют необходимость разработки нестандартных методов решения проблемы повышения эффективности использования электрической энергии.

Так как тяговый электропривод автономного транспортного средства (ТС) представляет собой сложную техническую систему, то наилучшие результаты могут быть достигнуты при рассмотрении энергетических процессов с учетом неразрывных связей между действующими в системе звеньями.

Одно из важнейших звеньев – система электропитания. В диссертации исследуется перспективный метод подвода энергии к ТС от кабеля, заложенного в дорожное полотно. Использование таких систем положительно сказывается на повышении уровня автономности ТС.

В диссертации Орла Е.О. исследуется комбинированная энергоустановка (КЭУ), содержащая в своем составе буферный накопитель энергии, который помимо основной функции, заключающейся в ограничении бросков тока тягового электродвигателя, играет роль основного источника питания при переезде с одной линии на другую, исчезновении напряжения питания и объезде препятствий. При управлении КЭУ используются элементы нейросетевого управления, выполнен расчет оценок переменных состояния с использованием искусственных нейронных сетей, синтезирован нейрорегулятор момента, в результате применения которого энергопотребление сократилось более чем на 20%. Предложенные принципы построения систем тягового электропривода, обеспечивают высокие энергетические и динамические показатели автономных транспортных средств.

Наконец, энергоэффективность автономного транспортного средства может быть увеличена за счет оптимизации подходов к планированию траектории движения ТС системой верхнеуровневого управления. Представленная в работе методика расчёта безопасной траектории движения

ТС с оптимальным энергопотреблением имеет большое практическое значение при проектировании беспилотного транспорта.

Структура и содержание работы

Во введении приведены актуальность темы, цель и задачи исследования, основные положения, выносимые на защиту, а также изложены сведения о научной новизне, практической значимости и апробации работы.

Первая глава работы посвящена анализу существующих средств и методов повышения энергетической эффективности автономных ТС. Обосновано решение исследовать четырехколесное ТС с двумя ведущими мотор-колёсами на базе *BLDC*-двигателей с бесконтактным индукционным источником питания и буферным накопителем энергии. Для повышения энергоэффективности системы управления тяговым электроприводом предложено использование нейросетевого регулятора момента.

Во второй главе произведен расчёт основных характеристик тягового электропривода. Представлены выбор стандартного цикла движения, алгоритм расчета характеристик тягового двигателя и буферного накопителя энергии с использованием статистических методов на основе выбранного цикла.

В третьей главе предложен метод синтеза системы управления электроприводом транспортного средства, использующего бесконтактную передачу энергии. Разработаны модели исследуемой системы, выполнена проверка корректности разработанных математических моделей. Кроме того, проведено сравнение эффективности использования классических регуляторов и нейрорегуляторов в управлении электроприводом. Доказана эффективность применения нейрорегулятора для повышения энергоэффективности системы.

Четвертая глава посвящена разработке метода оптимальной с точки зрения энергопотребления системы автономного управления ТС, использующей технологии технического зрения, динамическое программирование и метод полей искусственных потенциалов. Представлены результаты экспериментальной проверки данной системы навигации, проведенной на базе одной из компаний г. Новосибирска.

Научная новизна, достоверность выводов, сформулированных в научно-квалификационной работе

Научной новизной обладают следующие результаты диссертационной работы:

1. Полученное математическое описание источника бесконтактной передачи энергии как элемента системы автоматического управления тяговым электроприводом, позволяющее анализировать динамические свойства транспортного средства при изменении параметров источника питания.

2. Предложенная методика оценки переменных состояния тягового электропривода с использованием искусственных нейронных сетей, которая облегчает расчет и делает возможным построение бездатчиковой системы управления.

3. Синтезированные регуляторы переменных состояния тягового электропривода методом обучения искусственных нейронных сетей с подкреплением, обеспечивающие энергоэффективное управление транспортным средством.

4. Предложенная методика расчёта безопасной и энергоэффективной траектории ТС при объезде препятствия, использование которой, в конечном итоге, обеспечит безаварийную эксплуатацию электротранспорта.

Результаты, полученные в ходе исследования, были подтверждены путем структурного и имитационного моделирования исследуемой системы, а также посредством проведения экспериментальной проверки. Выводы и рекомендации, сформулированные на основе полученных данных, создают предпосылки для повышения энергетической эффективности автономных электрических транспортных средств, использующих бесконтактную передачу энергии, что, в свою очередь, расширяет область их применения и возможности внедрения.

Практическая значимость работы

Математическая модель источника бесконтактной передачи энергии может быть использована специалистами в области научных исследований и разработки практических решений для электроприводов.

Применение искусственных нейронных сетей в процессе наблюдения и управления переменными состояниями электропривода обеспечивает возможность увеличения энергоэффективности систем электропривода.

Совмещение критериев безопасности и энергоэффективности при формировании траектории движения делают автономные ТС более применимыми к использованию в смежном с человеком пространстве.

Соответствие положений, выносимых на защиту, материалам диссертации

На основании изучения содержания диссертации, её научной новизны и практической значимости, можно сделать вывод о полном соответствии

содержания диссертационного исследования и выносимых на защиту результатов. Полученные результаты являются научно обоснованными и способствуют решению задач по повышению энергоэффективности автономных транспортных средств.

Публикации и апробация положений диссертации

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени опубликованы в восьми научных работах, включая: статьи в журналах из списка ВАК РФ - четыре; статьи в журналах, проиндексированных базой Scopus - одна; свидетельства о регистрации программы для ЭВМ - одно. Основные положения и результаты исследования были представлены и обсуждены на международных и российских конференциях.

Замечания по работе

1. Положения, выносимые на защиту, сформулированы как простое перечисление полученных результатов.

2. На стр. 59 (последний абзац) сначала указано «BLDC имеет сосредоточенную обмотку», а чуть ниже «Распределенная обмотка BLDC проще и технологичнее в изготовлении»: не понятно, какое исполнение обмотки всё-таки рассматривается?

3. На стр. 63 указано: «При рассмотрении частного случая исполнения электрической машины с цилиндрическим ротором описанной зависимостью (величины индуктивностей и взаимных индуктивностей фазных обмоток статора от угла поворота поля) можно пренебречь». Но при любом исполнении остаются магнитные полюса и, следовательно, зависимость взаимных индуктивностей от углового положения ротора.

4. На стр. 64 указано, что «Для управления ЭДС на фазах статора BLDC двигателя используется принцип единичной функции. Суть его заключается во введении эквивалента ЭДС по форме, но имеющего максимальную амплитуду 1 В.». Во-первых, в ТАУ под единичной функцией понимают ступенчатую функцию, но не трапецеидальную; во-вторых, если вводимые функции имеют размерность напряжения, то выражения (2.5) и далее не справедливы и бессмысленны по размерности. По существу вводимые автором временные зависимости являются безразмерными функциями формы единичной амплитуды.

5. Подраздел 3.2 называется «Синтез системы автоматического управления тяговым электроприводом», однако процедура синтеза не рассматривается, лишь указываются используемые методы. Соответственно, вне внимания автора остаются требования в синтезируемой системе и налагаемые ограничения.

6. В подразделе 3.5 «Исследование работы системы с буферным накопителем энергии» не указано, как определялось, и определялось ли требуемое значение ёмкости накопителя.

7. Почему при верификации разработанной модели источника питания исследовались именно переходные процессы при включении трансформатора в сеть в режиме холостого хода?

Общая оценка работы

Диссертация является завершённой научной работой, выполненной автором самостоятельно на высоком научном уровне. В работе приведены научные результаты, позволяющие квалифицировать их как решение научно-технической задачи, имеющей важное значение для разработки электротехнических комплексов, систем и их компонентов, а также алгоритмов эффективного управления ими. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Работа базируется на достаточном числе исходных данных, примеров и расчетов, написана доходчиво, грамотно и аккуратно оформлена. По каждой главе и работе в целом сделаны четкие выводы.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Заключение

Считаю, что диссертационная работа Е.О. Орла по своей актуальности, новизне, научной и практической значимости результатов соответствует требованиям Положения ВАК РФ (п. 9-14) в части, касающейся кандидатских диссертаций, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент, заведующий кафедрой «Электроэнергетика»,
Политехнического института ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный
университет» д-р техн. наук,

Пантелеев Василий Иванович
12.11.2023

Подпись
Учёный с

Адрес: 660
Телефон: 1

Макарчук И.Ю.

Отзыв получен 01.12.2023
Макарчук И.Ю.

6

s.ru С отзывом ознакомлен
01.12.2023
Орел Е.О.