

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук Захарова Алексея Вадимовича на диссертационную работу Харисова Ильдара Ришатовича на тему «Адаптивная система управления тяговым электроприводом магистрального электровоза с переменной структурой», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы

1. Актуальность работы

Развитие железнодорожного транспорта, продолжающееся около 200 лет, вывело железнодорожные перевозки на лидирующие позиции по показателю тонна-километр в России. При этом современных решений ряда проблем железнодорожного транспорта требует совершенствования. Одной из таких проблем является проблема повышения качества тяговых характеристик магистральных локомотивов, а одним из способов ее решения – совершенствование способов управления выходными координатами (частотой вращения и моментом) тягового электропривода осей электровоза. Решение задачи по улучшению алгоритмов управления электроприводом, позволяющих обеспечить наилучшие кинематические режимы движения подвижного состава, имеет повышенную важность для магистральных электровозов. При этом одной из критических задач управления электровозом, обеспечиваемой за счет корректного управления выходным моментом, является задача разгона подвижного состава при низком сцеплении колеса и рельса.

В своей диссертационной работе соискатель ученой степени кандидата технических наук Харисов Ильдар Ришатович провел исследования и предложил новые структуры и алгоритмы управления координатами электропривода на основе асинхронного электродвигателя с векторным управлением, позволяющие, за счет корректного управления моментом, увеличить сцепление колеса и рельса. Таким образом, работа Харисова И.Р. является исследованием, выполненным на актуальную научную тему.

2. Структура и содержание

Диссертационная работа включает в себя введение, пять глав, заключение, приложение и список литературы из 119 наименований. Общий объем диссертации составляет 166 страниц, 102 рисунка, 23 таблицы.



Содержание диссертации соответствует заявленным целям и задачам исследования и логически структурировано следующим образом:

В первой главе рассмотрен вопрос сцепления колесной пары и рельса. Представлена типовая тяговая характеристика и требования к системе управления тяговым приводом. Приведен аналитический обзор структур и систем управления тягового электропривода подвижного состава. На основании функций классической системы управления тяговым усилием представлена классификация способов управления тяговым усилием в режимах предельных усилий.

Во второй главе приведено математическое описание асинхронного тягового двигателя и представлена его математическая модель, реализованная в пакете Matlab/Simulink. Проведена верификация математической модели данных численного эксперимента и результатов натурных испытаний. На основе математической модели асинхронного электродвигателя разработана математическая модель тягового электропривода. С целью упрощения математического аппарата при решении задачи разработки регуляторов управления тяговым усилием, проведено исследование на основе численного моделирования, позволившее упрощенно описать тяговый электропривод апериодическим звеном первого порядка. Приведена параметризация полученного упрощенного математического описания тягового электропривода, а также экспериментальное подтверждение проведенного исследования.

В третьей главе предложена оригинальная структура управления тяговым приводом, обеспечивающая максимизацию момента при допустимом проскальзывании колеса относительно рельса. Разработана структурная и функциональная схемы. Предложены регуляторы с переключаемой структурой коэффициента пропорциональности ПИ регулятора коррекции тягового момента.

В четвертой главе проведено исследование работоспособности и качественных показателей разработанного регулятора. Для этого разработана математическая модель тягового электропривода электровоза, позволяющая моделировать условия сцепления колеса с рельсом для первой и других осей локомотива. Представлены результаты численного и натурального эксперимента. Показаны преимущества использования разработанного ПИ регулятора с переменной пропорциональной составляющей, предложенного в третьей главе работы с использованием критерия оценки сцепления колеса и рельса.

Пятая глава посвящена экспериментальным исследованиям и оценкам эффективности применения разработанного регулятора тяги. Для этого

разработано инструментальное оборудование для полунатурного эксперимента в лаборатории. После проведения успешных лабораторных опытов, автором проведена оценка эффективности разработанной в диссертации системы управления на электровозе ЗЭС8 на экспериментальном кольце ВНИИЖТ.

3. Научные результаты и их новизна

Научная новизна работы заключается в следующем:

- Предложена классификация способов управления заданием тягового электроприводом в режимах предельных усилий, отличающаяся тем, что классификационными признаками являются функции, непосредственно связанные с разгоном и боксованием колес электровоза относительно рельса.

- Разработан метод поиска оптимальной скорости скольжения колесной пары в режиме избыточного скольжения, отличающийся тем, что скорость скольжения колесной пары определяют по таблице зависимости скорости скольжения от момента сцепления, составленной по результатам испытаний при выпуске электровоза с производства.

- Разработана математическая модель тягового электропривода, позволяющая исследовать критические показатели системы управления тяговым усилием, отличающаяся наличием подсистемы определения эффективности скольжения колесной пары и блока, имитирующего задержку сигнала при передаче данных.

- Разработан адаптивный пропорционально-интегральный регулятор, реализующий закон управления тяговым моментом электродвигателя, отличающийся тем, что на основании сигнала ошибки вычисляют корректирующий коэффициент пропорциональной части передаточной функции регулятора;

- Предложен критерий оценки эффективности работы автоматической системы управления тяговым усилием в режиме избыточного скольжения при моделировании системы управления тяговым усилием на компьютерной модели.

Новизна работы подтверждена патентами РФ на изобретения и полезные модели.

4. Основные практические результаты работы

Практическая ценность работы заключается в следующем:

- Снижении влияния возмущающих воздействий от помех, вызываемых влиянием механической подсистемы электропривода (пути, колес, механической передачи) на управляющее воздействие контура

коррекции тягового задания за счет применения адаптивного пропорционально-интегрального регулятора.

- Повышении точности поиска скорости скольжения колесной пары относительно рельса, обеспечивающего максимизацию момента при изменении коэффициента сцепления.

- Снижении временных затрат на проведения экспериментальных исследований за счет применения оригинального стенда полунатурных испытаний, позволяющего исследовать тяговый электропривод при изменении коэффициента сцепления колесной пары и рельса, состоящий из одноплатной ЭВМ и ПК.

- Повышении эффективности управления тяговым усилием электровоза в режимах предельных усилий за счет реализации эффективного скольжения колесной пары, максимизирующей тяговый момент на основе применения разработанной адаптивной системы.

Достоверность и обоснованность положений, выводов и рекомендаций

Достоверность научных положений подтверждается:

- применением классических методов теории автоматического управления, численных методов решения дифференциальных уравнений;

- адекватностью принятых допущений;

- оценкой погрешности, возникающей при принятии соответствующих допущений, и не превышением погрешности необходимой точности инженерных расчетов;

- результатами численных экспериментов работы тягового электропривода, реализованных в математическом пакете Matlab/Simulink;

- результатами натурных экспериментов, реализующих работу тягового электропривода на объекте исследования;

- верификацией результатов численных экспериментов путем сопоставления с экспериментальными данными.

5. Подтверждение опубликованных основных результатов работы

Основные положения диссертации в достаточном объеме опубликованы в 5 работах, в том числе, 3 статьи из перечня, рекомендованного ВАК и/или Scopus и 2 работы в трудах научно-практических конференций.

Получены 10 патентов, из которых 7 - изобретения, а 3 - полезные модели.

6. Соответствие работы научной специальности

Работа соответствует паспорту научной специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы в части физического, математического и компьютерного моделирования компонентов электротехнических комплексов и систем, а также разработки, структурного и параметрического синтеза электротехнических комплексов и систем, и разработки алгоритмов эффективного управления.

7. Вопросы и замечания по содержанию диссертационной работы

7.1. В работе не проведен анализ устойчивости адаптивной системы управления тяговым усилием с переменной структурой.

7.2. В соответствии с уравнением (2.13) для управления тяговым асинхронным электродвигателем используется векторное управление с косвенной ориентацией по полю ротора. При таком управлении фазовый угол потокосцепления существенно зависит от активного сопротивления ротора, а, следовательно, нагрева. Указанное отклонение оказывает влияние на параметры системы – приводит к ошибкам в расчете потокосцепления и момента. Не ясно может ли оказать отклонение параметров системы на работу адаптивного регулятора.

7.3. В таблице 2.1 не указан момент инерции асинхронного тягового двигателя.

7.4. Постоянная времени ротора в выражении (2.12) не расшифровывается.

7.5. Для полного понимания и сопоставления результатов численного и натурного экспериментов необходимо представить фазный ток статора (рис. 2.15, 2.17, 2.19) в виде действующего тока.

7.6. Автору следовало бы больше внимания уделять качеству иллюстрационного материала. Графики, например, 5.4-5.8, 5.12-5.14, 5.16, 5.17-5.21 следовало представить с соответствующими легендами, расположенными непосредственно на них.

8. Заключение

Диссертация Харисова Ильдара Ришатовича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном

уровне на актуальную тему, в которой содержится решение научной задачи по разработке системы управления тяговым приводом в условиях предельных усилий и ограничений по сцеплению. В работе представлены новые научные положения и результаты, имеющие практическую ценность, что подтверждается экспериментальными исследованиями и внедрением системы в промышленную эксплуатацию.

В целом диссертационная работа «Адаптивная система управления тяговым электроприводом магистрального электровоза с переменной структурой» удовлетворяет требованиям, установленным п.п. 9-11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842), а ее автор, Харисов Ильдар Ришатович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

10 ноября 2025 г.

Официальный оппонент, доктор технических наук, технический директор – руководитель направления расчетов ООО «Инжиниринговый центр «Русэлпром»



Захаров Алексей
Вадимович

Подпись Захарова А.В. заверяю,
Исполнительный директор
ООО «Инжиниринговый центр
«Русэлпром»



Бедекер Антон
Александрович

Сведения об организации:

ООО «Инжиниринговый центр «Русэлпром».

Адрес: 121205, город Москва, тер Инновационного Центра Сколково, Большой б-р, д. 42 стр. 1, этаж 3 помещ. 1129 тел.: +7(903)6475463; email: av.zakharov@ruselprom.ru