

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО ЛГТУ,

доктор технических наук,

доцент



Сараев П.В.

12 2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Конохова Дмитрия Владимировича «Энергоэффективное прямое управление моментом асинхронных тяговых электродвигателей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Актуальность темы исследования

Реализация асинхронного тягового электропривода (ТЭП) на тепловозах и электровозах обеспечивает улучшенные тяговые и энергетические характеристики, высокую скорость движения, меньшую стоимость полного жизненного цикла локомотивов. Мощность асинхронных тяговых двигателей (АТД) в тех же габаритах в сравнении с двигателями постоянного тока может быть увеличена в 1,5 – 2 раза, конструкция АТД требует меньше дорогостоящих материалов, таких как медь и изоляционные материалы, что является несомненным преимуществом асинхронных электродвигателей.

Одним из ключевых вопросов при разработке современных локомотивов является создание систем управления, обеспечивающих энергоэффективность электрической передачи при сохранении высоких тяговых свойств во всем диапазоне нагрузок и скоростей. Данная задача является весьма нетривиальной и требует научного подхода к её решению. В

связи с чем, проведенное соискателем диссертационное исследование, направленное на повышение энергетической эффективности асинхронного тягового электропривода локомотивов, является весьма актуальным и имеет большую теоретическую и практическую значимость.

Оценка структуры и содержания работы

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы, включающего 105 источников, и трёх приложений. Название диссертационной работы полностью отражает сущность и содержание проведенного исследования. Диссертация обладает стилистической целостностью, логической последовательностью и общим единством.

Во введении автором обоснована актуальность работы, поставлены цели и задачи исследования, сформулирована научная новизна, практическая и теоретическая значимость, представлены результаты апробации и реализации работы; полученные в результате проведенных исследований выводы имеют научную новизну.

В первой главе соискатель подробно проанализировал существующие системы частотного управления асинхронными двигателями, а также историю их развития. Выделил отличительные особенности каждой из них, указав при этом основные характерные достоинства и недостатки. Автор обоснованно отмечает высокую эффективность систем прямого управления моментом, которая обладает рядом важных для реализации энергосберегающих алгоритмов преимуществ. В рамках первой главы также рассмотрены пути повышения энергоэффективности асинхронных электроприводов. Определен критерий оптимизации модернизируемой системы управления, направленный на минимизацию потребления тока статора от источника электрической энергии.

Во второй главе автором предложен вариант реализации энергоэффективного алгоритма в системе прямого управления моментом и

его математическое описание. Математическое описание предлагаемого алгоритма включает в себя расчет оптимальных величин угла между моментобразующими векторами и задания потокосцепления статора по критерию минимума тока статора в зависимости от задания на момент. Интерес представляет разработанная автором методика определения оптимальной зависимости задания потокосцепления статора от задания на момент. Данная методика применима не только для рассмотренного асинхронного тягового электропривода с асинхронным двигателем АД917УХЛ1, но и для других типов асинхронных электроприводов. Также автором определены рабочие диапазоны электромагнитного момента АД, при которых применение энергоэффективной (оптимальной) зависимости задания потокосцепления статора от задания на момент является целесообразным. Расчет зависимости производился с учётом нагрева обмоток статора и ротора АД, а также с учётом насыщения магнитной цепи.

Третья глава посвящена реализации энергоэффективного способа управления тяговым электроприводом локомотива в системе прямого управления моментом. Сформирована функциональная схема, описаны параметры и назначение каждого звена, предлагаемой системы управления. Разработан энергоэффективный алгоритм управления асинхронным тяговым двигателем локомотива, реализующий изменение потокосцепления статора по оптимальной зависимости от задания на момент АД и режима работы локомотива. Основными звеньями энергоэффективной системы управления являются задатчик потокосцепления статора, реализующий оптимальную зависимость задания потокосцепления статора от задания на момент АД, и блок логики, определяющий режим работы ТЭП локомотива и осуществляющий переход от традиционного управления к энергоэффективному. Приведено математическое описание асинхронного тягового электродвигателя и системы прямого управления моментом. Выполнена проверка адекватности разработанной модели АД.

В четвертой главе автором разработана комплексная модель тягового электропривода гибридного маневрового тепловоза ТЭМ9Н с асинхронными тяговыми двигателями АД917УХЛ1, электрическая подсистема которой реализована в основной библиотеке программном комплексе Matlab/Simulink. Механическая часть реализована в программном комплексе «Универсальный механизм». Моделирование производилось в программном комплексе Matlab/Simulink при совмещении электрической подсистемы с механической посредством специального интерфейса, суть работы которого подробно описана автором в диссертации. Особый интерес представляет электрическая подсистема модели, включающая в себя систему прямого управления моментом, оптимизированную по критерию минимума тока статора. Результаты моделирования показали существенный эффект применения оптимизации потокосцепления статора АТД для минимизации потребления тока статора от источника электроэнергии. Использование предложенного алгоритма управления асинхронным тяговым электроприводом локомотивов даёт возможность, за счёт минимизации тока статора, повысить коэффициент полезного действия АТД до 10-12% в режимах работ ТЭП при малых нагрузках (лёгкий профиль пути, маловесный состав или движение без состава).

В заключении выполненной работы сформулированы основные выводы и результаты.

Соответствие содержания диссертации заявленной специальности

Диссертация соответствует научной специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы. Проводимое в работе исследование системы управления асинхронным тяговым электроприводом локомотивов соответствует содержанию специальности. Объектом исследования данной работы является система прямого управления

моментом асинхронного электродвигателя. Содержание диссертации соответствует следующим пунктам паспорта специальности:

1) пункт 1: развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, изучение системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем;

2) пункт 3: разработка, структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем, их оптимизация, а также разработка алгоритмов эффективного управления;

3) пункт 4: исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях.

Соответствие автореферата диссертации её содержанию

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. В автореферате отражены основные положения диссертации, приведены выводы и результаты исследования.

Личный вклад соискателя в получении результатов исследования

Соискатель разработал графоаналитическую методику расчета оптимальных по критерию минимума тока статора величин задания потокосцепления статора и угла между моментобразующими векторами в зависимости от задания на момент АД в системе прямого управления моментом. Также автор реализовал её математическое описание, получил аналитические выражения, аппроксимирующие оптимальные зависимости потокосцепления статора и угла между моментобразующими векторами тока и потокосцепления статора. Проведена оценка влияния изменения температуры обмоток статора и ротора АД на значения оптимальных зависимостей и влияния насыщения магнитной цепи АД.

Автором диссертации разработан способ энергоэффективного управления тяговым асинхронным электроприводом локомотивов, основанный на оптимальном регулировании потокосцепления статора асинхронного электродвигателя по критерию минимума тока статора. Реализована электрическая подсистема комплексной электромеханической модели с применением энергосберегающего алгоритма в системе прямого управления моментом.

Соискателем разработана лабораторная установка для исследования разработанного энергоэффективного способа управления асинхронным двигателем с использованием преобразователя частоты ACS850 фирмы АВВ и асинхронного двигателя АО2-42-4У3 и выполнены экспериментальные исследования и их анализ.

Степень достоверности результатов исследования

Достоверность результатов, полученных в диссертационном исследовании, подтверждается сходимостью оптимальных величин потокосцепления статора, определенных по графоаналитической методике, с результатами компьютерного моделирования и лабораторными испытаниями.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором диссертации результатов

Теоретическая и практическая значимость полученных автором диссертации результатов заключается в следующем:

– разработана методика определения оптимального значения задания потокосцепления статора и угла между моментобразующими векторами, которая применима как для тяговых асинхронных двигателей, так и для общепромышленных.

– разработан способ энергоэффективного управления асинхронным тяговым электроприводом локомотивов, реализованный в системе прямого управления моментом, позволяющий существенно снизить потребление тока статора от источника электроэнергии;

– разработана математическая и компьютерная модель энергоэффективной системы прямого управления моментом асинхронного тягового электродвигателя, а также комплексная компьютерная модель ТЭП локомотива, позволяющая исследовать процессы, протекающие в АТД при различных режимах работы ТЭП локомотива.

– разработана лабораторная установка, позволяющая исследовать эффективность работы энергосберегающего алгоритма при различных режимах нагрузки асинхронного двигателя.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационного исследования применимы к частотно-регулируемым электроприводам с асинхронными двигателями различного типа и мощности с системами прямого управления моментом. Разработанную графоаналитическую методику рекомендуется использовать на стадии разработки систем управления асинхронными электроприводами, в которых предполагается реализация принципов прямого управления моментом. Наибольший эффект внедрения предлагаемого энергоэффективного способа управления АТД можно получить при установившихся режимах работы ТЭП (движении с постоянной скоростью по участкам с лёгким профилем пути) с нагрузкой значительно меньшей номинальных паспортных значений. При этом предложенный способ сохраняет требуемые тяговые характеристики локомотива в режимах близких к номинальным режимам работы ТЭП за счет блока логики, контролирующего электрические и механические параметры электропривода

и осуществляющего переход между обычным и энергоэффективным алгоритмами задания потокосцепления.

Новизна полученных результатов

Новизна полученных результатов заключается в следующем:

- разработана графоаналитическая методика по расчету оптимальных величин задания потокосцепления статора и угла между моментобразующими векторами (вектора тока и потокосцепления статора);
- разработан способ энергоэффективного прямого управления моментом асинхронного тягового электропривода, основанный на оптимальном по критерию минимума тока статора регулировании задания потокосцепления статора АД;
- предложены алгоритмы работы блока логики задания потокосцепления для тягового электропривода локомотивов.

Замечания по диссертационной работе

1. При выполнении обзора недостаточно полно рассмотрены варианты реализации систем векторного управления асинхронным электроприводом.

2. В диссертации имеются опiski: в обзоре на странице 43 ошибочно указано, что векторами, между которыми при отсутствии насыщения оптимальный по критерию минимума тока статора угол равен 45° являются ток и потокосцепление статора, на стр. 44 – что это ток и потокосцепление ротора, надо быть внимательнее.

3. Уменьшение магнитного потока статора ведёт к снижению перегрузочной способности и может вызвать попадание рабочей точки асинхронного двигателя на неустойчивый участок механической характеристики.

4. В формуле 2.36 при определении тока намагничивания по графоаналитической методике первое приближение надо было сделать более точным, учтя в знаменателе, кроме индуктивного сопротивления ветви

намагничивания, также активное и индуктивное сопротивления обмотки статора.

5. Рассчитанная и аппроксимированная во второй главе зависимость оптимального угла между моментобразующими векторами тока и потокосцепления статора не используется при синтезе системы управления.

Сделанные замечания не снижают ценности научных и практических результатов работы.

Заключение по диссертации о соответствии её требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней»

Диссертационная работа Конохова Д.В. является завершённой научно-квалификационной работой, обладает внутренним единством, написана автором самостоятельно, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора в науку.

В диссертации Конохова Д.В. изложены научно-обоснованные технические решения по повышению энергетической эффективности системы прямого управления моментом тяговых и общепромышленных асинхронных двигателей за счёт оптимизации потокосцепления статора по критерию минимума тока статора, что имеет существенное значение для создания отечественных энергоэффективных систем тягового электропривода.

В итоге можно констатировать, что диссертация полностью соответствует требованиям Положения о присуждении учёных степеней, а её автор, Конохов Дмитрий Владимирович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Диссертация рассмотрена на заседании кафедры «Электрооборудование» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий

государственный технический университет» «30» ноября 2018 г.,
протокол №14.

Результаты открытого голосования о принятии данного решения:
«за» – 11 голосов, «против» – 0, «воздержались» – 0 голосов.

Шпиганович Александр Николаевич

Доктор технических наук по специальности 05.09.03 –
Электротехнические комплексы и системы;
профессор, заведующий кафедрой «Электрооборудование»
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Липецкий государственный технический
университет»;

Зацепин Евгений Петрович

Кандидат технических наук по специальности 05.09.03 –
Электротехнические комплексы и системы;
доцент кафедры «Электрооборудование», руководитель научно-
образовательного центра "Проблем энергетике и электротехники"

почтовый адрес: 398600, Россия, г. Липецк, ул. Московская, д.30;
телефон: 8-(4742)-32-80-48;
адрес электронной почты: ShpiganovichAN@mail.ru

Подписи

Дата «30» 11 2018 г.  Шпиганович А.Н.

Дата «30» 11 2018 г.  Зацепин Е.П.

