

В диссертационный совет Д 212.298.05 на базе
ФГАОУ ВО «Южно-Уральский
государственный университет» (НИУ)
454080, Российская Федерация, г. Челябинск, пр. Ленина, 76.

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертацию *Балденкова Александра Александровича*
**«СТРУКТУРНЫЕ МЕТОДЫ ЛИНЕАРИЗАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С ЧАСТОТНЫМ
УПРАВЛЕНИЕМ»**,
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

На отзыв представлены

- Диссертация «Структурные методы линеаризации динамических характеристик асинхронных электроприводов с частотным управлением», содержащая введение, 4 главы, заключение, список использованной литературы из 153 наименований и приложения. Работа изложена на 145 страницах, содержит 92 рисунка и 12 таблиц.
- Автореферат диссертации.

Актуальность темы. Диссертационная работа *Балденкова Александра Александровича* посвящена решению задач по повышению эффективности существующих алгоритмов управления асинхронными электроприводами. Тематика работы относится к приоритетному направлению развития науки, технологии и техники Российской Федерации «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика» согласно указу Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 899 и новому приоритетному направлению А «Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта» национального проекта «Наука».

Энергетические показатели и динамические свойства применяемых типовых систем частотного асинхронного электропривода с векторным и скалярным управлением могут быть улучшены путем использования систем коррекции. А, как известно, что при построении систем коррекции необходимо, сохраняя подход к минимизации количества используемых датчиков, использовать воз-

возможности идентификации недоступных для измерения переменных с помощью разработанных моделей и осуществляющих требуемые расчеты устанавливающих связи между переменными двигателя. Несмотря на значительный объем выполненных исследований в области асинхронных электроприводов с системами коррекции, использующими модели асинхронного двигателя, их практическое использование в промышленном производстве остается достаточно ограниченным. Поэтому сохраняется актуальность решения задач, связанных с разработкой и исследованием новых систем частотного скалярного и векторного управления с дополнительными корректирующими устройствами, улучшающими энергетические и динамические характеристики электроприводов переменного тока с асинхронными двигателями.

Оценка новизны проведенных исследований и полученных результатов

Научная новизна полно сформулирована в тексте диссертационной работы и включает в себя:

- 1) новый **метод** построения семейств частотных характеристик асинхронных электроприводов;
- 2) новый структурный **метод** линеаризации асинхронного электропривода введением положительной обратной связи по действующему значению тока статора с динамическим звеном близким к фильтру 1-го порядка с параметрами, адаптируемыми к частоте питающего напряжения;
- 3) новый **алгоритм** структурной коррекции, внедренный в систему управления преобразователями частоты линии по окраске листового материала позволил повысить точность поддержания линейной скорости листа.

Результаты: **метод** и **алгоритм** соответствуют классификатору наименований рекомендуемых результатов научно-технической деятельности (https://www.marsu.ru/science/nic/nauchno_issledovatel'skiy_sektor/documents/gost/class.pdf)

Отличительными особенностями работы является комплексный подход к достижению поставленной цели, включающий разработку модели, ее анализ, создание экспериментальной установки и внедрение на промышленных объектах. Автор диссертации определил требования к создаваемой системе (стр. 8) и выстроил исследования, направленные на их достижение. Выбранные требования приближают асинхронные электропри-

воды к линейным системам и расширяют возможности ее применение, что соответствует направлению А национального проекта «Наука».

Используемые основы физики и электропривода не являются новыми, но использованы верно. Работа имеет элементы фундаментальности при обосновании результатов и полученные обобщения могут носить статус нового метода структурной коррекции.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций и заключений

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждена использованием научных работ отечественных и зарубежных авторов (153 источника) в области управления асинхронными электроприводами. Автор диссертации выполнил тщательный патентный поиск с 1983 года, охватывающий работы российских и зарубежных авторов: теория, способы, устройства, методы, процессы и системы для управления асинхронным частотно-регулируемым электроприводом. На основании исследования существующих решений автор получил два патента на устройство частотного управления асинхронным электроприводом, патент на электропривод механизма подъема башенного крана с параметрическим управлением, новизна которых подтверждена экспертизой на уникальность.

Подробный анализ области построения систем управления асинхронными электроприводами позволил сформулировать существующие противоречия в современной теории и практике.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, подтверждается широкой апробацией работы в открытой печати (19 опубликованных работ, из них 3 в рецензируемых журналах из Перечня ВАК, 9 статей, индексированных в Scopus и Web of Science и 3 патента Российской Федерации).

Автор выполнил несколько видов экспериментальных исследований:

- вычислительный эксперимент - для адаптации модели 1) подтвердили ряд проблем асинхронных электроприводов с частотным управлением (подробные расчеты приведены в первой главе диссертации параграф 1.4; 2) исследования динамического звена, имеющего положительную обратную связь (глава 2 параграф 2.2.);
- модельные эксперименты, которые проведены на лабораторном стенде (первая глава диссертации параграф 1.5 и глава 3);

– эксперименты в промышленных условиях: 1) промышленная технологическая линия по окраске листового материала; 2) автономная блочная котельная, совмещенная с тепловым пунктом - для оценки применимости предложенной структурной коррекции (глава 4).

Экспериментальные исследования в промышленных условиях показали, что посредством внесения изменений в программное обеспечение ПЛК, управляющего технологической линией, затраты на внедрение окупаются за счет снижения процента брака (с 20% до 1–3%), а для блочной котельной позволяет увеличить частоту питающего напряжения привода циркуляционного насоса до 10% (до 5Гц), без превышения тока статора, и тем самым, пропорционально увеличить количество передаваемого в сеть тепла, без повышения температуры теплоносителя.

Значимость результатов, полученных в диссертации для науки и практики

Значимость для науки результатов, полученных в диссертации, подтверждается разработкой структурного метода линеаризации асинхронного электропривода с введением положительной обратной связи по действующему значению тока статора и динамическим звеном. Использование фундаментального математического и физического аппарата позволяет перенести результаты исследования для построения систем управления асинхронными электроприводами, а структурная коррекция является эффективным решением для электроприводов с высокими требованиями к динамическим характеристикам, в которых невозможна, либо значительно затруднена установка датчиков скорости.

Полученные результаты диссертационного исследования могут быть использованы для модернизации асинхронных электроприводов с частотным управлением, внедрением в них алгоритмов управления, приближающих эти электроприводы к линейным системам и повышающих эффективность их при работе с различной нагрузкой в широком диапазоне скоростей.

Создание предлагаемой системы управления частотными электроприводами является расширением научно-обоснованных *импортозамещающих решений* в области проектирования и разработки методов, систем и программного обеспечения технологических процессов для промышленности.

Полученные решения могут быть предложены для испытания и последующего использования на промышленных предприятиях.

Замечания по диссертационной работе

1. Не приведены технические данные ПЧ и, где обоснование выбора такого преобразователя (стр.42).
2. Почему на рис. 1.1, 1.2 и 1.7 ток холостого хода имеет существенные различия (изменяется от 70% до 79,2% от номинального значения) и его значение велико.
3. В работе не приведена адекватность разработанной модели и стенда (глава 1).
4. В выводах по 1 главе

А) процессы в двигателе оказывают существенное влияние на главные показатели привода – динамические характеристики, **точность и устойчивость**; А именно **точность и устойчивость** в главе не видно.

Б) Показано, что неточности и допущения, принятые при формулировании основных методов управления асинхронными двигателями, ..., приводят к новым, связанным с неточностью моделей при реализации векторного управления в ПЧ; Какие именно допущения приводят к этому.

5. Графики зависимости приведены на рисунке 2.2 [138]. Что взяты из или построены по формулам. β_k от α - это что?

6. С точностью лучше 1%. Тем не менее, как показано на рисунке 2.25, при набросе нагрузки время переходного процесса (T_{nn}) значительное.

7. Выводы по главе 3. **и существенно уменьшить** динамические ошибки при изменении нагрузки; на сколько?

8. Выводы по главе 4.наилучшее поддержание скорости при протягивании листа (меньшее время протягивания листа T_{nl}) **8,08с и 7,84 с отличаются на 3 %**. 3% может это ошибка в измерениях.

9. Обозначения - $p\backslash c$ нет такого обозначения есть- $rad\backslash c$, большой буквой Т обозначают либо период либо это постоянная времени, но не как T_{nn} правильно t_{nn}

В работе присутствуют небрежности в оформлении рисунков, опечатки, несогласованность фраз.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Диссертация Балденкова Александра Александровича является научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой содержится решение задачи по разработке нового метода структурной коррекции, повышающего эффектив-

ность асинхронных электроприводов при работе с различной нагрузкой в широком диапазоне скоростей. Диссертация содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, а также имеет практическую ценность, что подтверждается результатами проведения опытной эксплуатации системы в промышленных условиях на линии окраски листового материала ООО «Комплекс» (г. Челябинск), в системе управления циркуляционными насосами автономного теплового пункта обслуживаемого НПФ «Восток-Запад» (г. Челябинск). Сформулированные автором выводы являются обоснованными и достоверными.

Диссертация представлена в форме, позволяющей получить полное представление о проведенных теоретических и экспериментальных исследованиях. Автором корректно использованы ссылки на ранее известные результаты.

Полученные в диссертации результаты соответствуют поставленной цели и задачам. Результаты работы систематизированы и представлены в виде таблиц, графиков и схем. Содержание автореферата полностью соответствует основному содержанию диссертационной работы. В автореферате изложены основные идеи и выводы диссертации, показан вклад автора в проведенное исследование, степень новизны, практическая значимость результатов.

Тема и содержание диссертации соответствует п. 1 (Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, изучение системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем.) и п. 3 (Разработка, структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем, их оптимизация, а также разработка алгоритмов эффективного управления) паспорта научной специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы. Вышеизложенное позволяет утверждать, что диссертационная работа *Балденкова Александра Александровича* соответствует требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (ред. от 21 апреля 2016 г), а ее автор *Балденков Александр Александрович* заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Stamps

Подпись проф. М.Ю.Петушкова: _____
Начальник службы делопроизводства
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.И.Посова»

Handwritten signature

455000, г.Магнитогорск,
m.petushkov@magtu.ru

каф.ЭиМЭ

тел.8(3519)29-85-86