

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный технический
университет им. Р.Е. Алексеева»
(НГТУ)

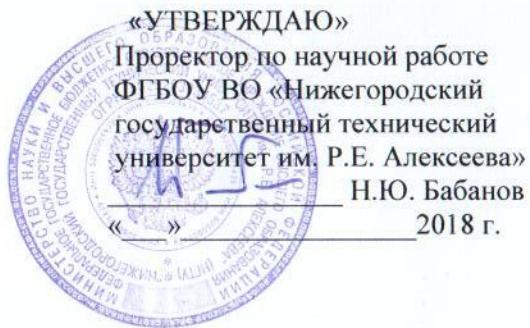
Минина ул., 24, г. Нижний Новгород, 603950

Тел. (831) 436-23-25, факс (831) 436-94-75
E-mail: nntu@nntu.ru www.nntu.ru

ОКПО 02068137 ОГРН 1025203034537
ИНН / КПП 5260001439 / 526001001

29.10.2018 № 21-01-09-40

На № _____ от _____



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Филюшова Юрия Петровича «Вопросы теории и основы построения энергоэффективного управления быстродействующим электроприводом переменного тока», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.09.03 —
«Электротехнические комплексы и системы

1. Актуальность темы исследований.

В процессе развития электропривод достиг высокого уровня совершенства, обеспечивая высокие динамические свойства, удовлетворяющие самым разнообразным технологическим требованиям. Вместе с тем задача повышения производительности технологических процессов, при максимальном снижении потребления электроэнергии, не теряет своей актуальности. Желание повысить эффективность процессов электромеханического преобразования энергии заставляет разработчиков улучшать энергетические характеристики электрической машины путем увеличения массы активных материалов. Результатом является повышение номинального значения КПД на 4 – 5 % за счет увеличения массы активных материалов двигателя на 30 – 40 %. Но эти дорогостоящие решения в значительной мере утрачивают свое преимущество, если часть цикла электрическая машина работает не в номинальном режиме.

Диссертационная работа Филюшова Юрия Петровича посвящена

решению задачи наилучшего сочетания динамических и энергетических свойств электропривода, обусловленной желанием максимально возможно снизить потребление энергии в условиях заданной производительности технологических процессов.

Технологии энергосберегающих систем вошли в перечень критических технологий Российской Федерации, утвержденных указом президента РФ от 07.07.2011 N 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации».

2. Общая характеристика работы

Диссертационная работа Филюшова Ю.П. состоит из введения, 7 глав, заключения, списка литературы из 186 наименований и приложений. Объем составляет 344 страницы основного текста, в том числе: рисунков 122, таблиц 5.

В введении автором сделан анализ известных решений электропривода, показаны недостатки существующих способов управления машиной переменного тока, изложена общая характеристика работы – актуальность, цель и задачи исследования, научная новизна и практическая ценность, описана структура работы.

В первой главе автором проводится анализ решений управления отвечающего требованиям, предъявляемым к работе электропривода переменного тока. Рассмотрены алгоритмы управления быстродействующим электроприводом, в частности, алгоритмы, обеспечивающие стабилизацию энергии магнитного поля и алгоритмы, не требующие предварительного намагничивания магнитной системы электрической машины.

Во второй главе автором представлено доказательство первого концептуального положения, являющегося научным положением, выносимым на защиту. Рассмотрена модель нелинейного многоканального объекта управления, которая, при определенных допущениях, близка модели обобщенной электрической машины. Методом Лагранжа в понтрягинской форме рассмотрена задача быстродействия трехмерной нелинейной системы, характеризуемой тремя входными воздействиями и тремя выходными величинами, нелинейно связанными с регулируемыми переменными. Используя полные производные выходных величин, применяя линеаризацию по выходу, методом обратной модели организовано управление, приведя систему к новым регулируемым переменным. Сформированное управление нелинейно в системе исходных координат, но позволяет обеспечить типовой

характер формирования всех выходных величин в системе новых регулируемых переменных. В результате решения поставленной задачи сделан важный вывод. Для многоканального объекта наилучшее по быстродействию управление должно обеспечивать пропорциональное изменение регулируемых переменных с одинаковым темпом.

В третьей главе рассмотрено второе концептуальное положение. Определены аргументы, влияющие на закон управления, и установлен перечень основных показателей качества, характеризующих динамические и энергетические свойства электропривода в зависимости от установленных аргументов, доказывая второе научное положение. В качестве преобразователя энергии рассматривается обобщённая электрическая машина. Определено влияние функций энергетического состояния на интенсивность процессов преобразования энергии, при ограничении мощности, подводимой к обмоткам двигателя. Методом Эйлера – Лагранжа определены условия управления, при которых мощность, подводимая к обмоткам двигателя для быстрого изменения электромагнитного момента с заданным темпом, имеет минимальное значение. Сформулировано правило выбора решений многокритериальной оптимизации электропривода. Разработан метод формализации задачи многомерного управления, обеспечивающего наилучшее сочетание динамических и энергетических свойств электропривода в условиях заданных ограничений, доказывая третье научное положение. В этой же главе, используя функции энергетического состояния, представлен интегральный метод анализа энергетических характеристик электропривода в переходных режимах, доказывая четвертое научное положение.

В четвертой главе в соответствии с основными положениями предложенной концепцией, используя установленные закономерности и возможности управления, автором рассмотрена методология многокритериального синтеза многомерного управления электроприводом переменного тока на примере обобщенной электрической машиной. Применяя метод обратной модели с линеаризацией по выходу, используя полные производные выходных величин, разработанная методология предполагает переход к системе новых регулируемых переменных. Организованное управление обеспечивает линеаризацию структуры управления. Методом Лагранжа в понtryгинской форме рассмотрен выбор параметров многомерного регулятора управления, обеспечивающего изменение состояния электрической машины за минимальное время в условиях ограничения полосы пропускания контуров регулируемых переменных. Разработаны основные положения

многокритериального синтеза многомерного управления, позволяющего наряду с апериодическим характером формирования электромагнитного момента регулировать энергетические свойства электропривода, доказывая пятое и шестое научное положение, выносимое на защиту. В аналитическом виде представлена динамическая модель многомерной системы управления электроприводом, позволяющая определить значения регулируемых переменных и выходных величин электрической машины в любой момент времени переходного процесса.

В пятой главе представлена стратегия формирования управления синхронными машинами различного типа. Опираясь на методологию комплексного подхода к синтеза многомерного управления, в основе которого лежит идея управления, новизна и приоритет которого подтверждена патентом на изобретение № 2092967 РФ, Н 02 Р 21/00, решена задача управления синхронной машиной с электромагнитным возбуждением.

В шестой главе, основываясь на разработанной методологии, автором представлена стратегия синтеза управления асинхронной машиной с короткозамкнутым ротором.

Седьмая глава посвящена экспериментальному исследованию эффективности различных систем управления. Эксперименты на физической установке подтвердили работоспособность электропривода при формировании управления методом последовательного синтеза.

В заключении сформулированы основные выводы и приведены сравнительные оценки результатов, полученных в диссертационной работе. Приложения содержат типовое решение задачи Лагранжа в понтиягинской форме, математическую модель системы управления асинхронной машиной, учитывающую нелинейность характеристики намагничивания, результаты моделирования, термины и определения, документы, подтверждающие использование положений диссертационной работы на предприятии госкорпорации «РОСАТОМ» ФГУП ПО «Север» г. Новосибирск.

3. Научная ценность работы

Научная ценность диссертационной работы Филюшова Ю.П. заключается в следующем.

1. Концептуальные положения комплексного подхода к синтезу многомерного управления электроприводом методом обратной модели с линеаризацией по выходу, в совокупности с применением вариационных методов, могут быть использованы для решения нелинейных задач

современной теории управления многомерными объектами.

2. Связи силовых и энергетических характеристик электрической машины, представленные в явном виде, дают возможность получить новые знания в теории электромеханического преобразования энергии, на основании которых выбираются решения многокритериальной оптимизации электрической машины электропривода переменного тока для реализации тех или иных требований технологического процесса.

3. Установленная аналитическая зависимость показателей качества основных свойств электропривода от аргументов, характеризующих положение векторов, определяет новые знания теории электропривода, на основании которых становится возможным формализовать задачу управления, обеспечивающего желаемую производительности технологических процессов при максимально возможном снижении потребления энергии.

4. Разработанная методология многокритериального синтеза многомерного управления электрической машиной переменного тока вносит новые знания в развитие теории управления электроприводом переменного тока, на основании которых формируется управление, обеспечивающее наряду с формированием электромагнитного момента регулирование основных свойств электропривода переменного тока различного назначения. Новые решения синтеза управления, обеспечивающего апериодический характер формирования электромагнитного момента, определяют прогнозируемость процессов управления и преемственность синтеза внешних контуров способами подчиненного регулирования систем воспроизведения движения, повышая точность регулирования. Разработанная методология синтеза управления способствует решению практически важных задач энергосбережения высокодинамичных систем воспроизведения движения большой и малой мощности в условиях технологических ограничений.

4. Практическая значимость полученных результатов

1. Разработанная методология многокритериального синтеза многомерного управления электрическими машинами (синхронных с электромагнитным возбуждением, явнополюсных и неявнополюсных синхронных машин с возбуждением от постоянных магнитов и асинхронных машин с короткозамкнутым ротором) быстродействующего электропривода, позволяет повысить точность регулирования и улучшить интегральную оценку КПД за время переходного процесса на 6 - 8% . Такое управление значительно расширяет потребительские свойства электропривода

переменного тока.

2. Аналитический метод интегральной оценки энергетической эффективности работы электропривода позволяет на стадии проектирования сопоставить основные свойства различных систем воспроизведения движения в статических и динамических режимах.

3. Разработанные теоретические положения в совокупности с практическими результатами создают объективные предпосылки для внедрения в практику электроприводов нового поколения. Областью применения разработанных алгоритмов управления могут быть электроприводы металлургической, металлообрабатывающей промышленности, электроприводы подвижного состава железнодорожного транспорта, где к технологическим процессам предъявляются высокие динамические и энергетические требования в условиях существенного изменения нагрузки.

5. Полнота опубликованных результатов работы

Основное содержание диссертации опубликовано в 58 научных работах, в числе которых 9 научных публикаций входящих в систему цитирования Scopus, 22 публикации в рецензируемых журналах рекомендованных перечнем ВАК РФ, из них 16 работ опубликовано в журналах «Электротехника» и «Электричество», одна монография, патент на способ управления, 3 свидетельства регистрации электронного ресурса, 13 докладов на научных конференциях, 10 работ опубликованных в сборниках научных трудов. В числе конференций несколько докладов на значимых форумах, организованных РФФИ. Результаты исследований обобщены в монографии Г. М. Симаков, Ю. П. Филюшов / Энергоэффективное управление электроприводом переменного тока / Новосибирск: Изд. – во НГТУ, серия «монография НГТУ», 2016. – 245 с.

6. Соответствие научной специальности

Исследования, проводимые в рамках диссертационной работы, соответствуют области исследований п.1, п.2, п.3, п.4, приведенной в паспорте специальности 05. 09. 03 – «Электротехнические комплексы и системы» отрасли технических наук. Первое и второе научные положения работы отвечают развитию общей теории систем управления электрическими машинами (п.1), третье научное положение соответствует обоснованию совокупности технических критериев оценки качества (п.2), четвертое и пятое

научные положения соответствуют синтезу систем и их оптимизации, а также разработке алгоритмов эффективного управления (п.3). Шестое и седьмое научные положения диссертационной работы включают исследования качества функционирования систем управления в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях (п.4).

7. Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы

Областью применения разработанных алгоритмов управления могут быть электропривода металлургической, металлообрабатывающей промышленности, электропривода подвижного состава железнодорожного транспорта, где к технологическим процессам предъявляются высокие динамические и энергетические требования в условиях существенного изменения нагрузки.

8. Оценка содержания и оформления диссертации

Диссертация отличается внутренним единством и завершенностью, комплексностью подхода к задачам синтеза. Содержание диссертации соответствует ее названию и поставленным задачам. Результаты исследований представлены в общепринятой для таких работ форме: графиков, осциллографов и таблиц. Основные выводы и заключение сформулированы достаточно полно и отражают суть полученных результатов исследований.

Автореферат достаточно хорошо отражает содержание диссертационной работы.

9. Замечания по диссертационной работе

1. В работе рассматривается аналитическое решение задач управления для различных типов машин переменного тока. При этом результаты моделирования представлены с учетом насыщения магнитной системы двигателя, что создает определенные сложности в оценке правильности аналитических решений.

2. На наш взгляд, текст диссертационной работы несколько перегружен примерами. Хотя они и имеют практическую значимость, их можно было бы разместить в приложениях.

3. В работе автором предложен метод учета нелинейности магнитной системы асинхронного двигателя. Однако описанию этого метода уделено недостаточно внимания.

4. При рассмотрении нелинейных структур управления автору следовало бы

уделить больше внимания термину стационарности.

Указанные замечания не снижают ценности работы, ее научной новизны и практической значимости.

10. Соответствие диссертационной работы требованиям ВАК РФ

Уровень апробации и публикаций диссертационной работы, степень научной новизны и практической значимости соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к работам на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.09.03 — «Электротехнические комплексы и системы. Несмотря на отмеченные замечания, диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, отвечающей требованиям п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней (утверженного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.), а её автор, Филюшов Юрий Петрович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.09.03 - «Электротехнические комплексы и системы».

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры «Электрооборудование, электропривод и автоматика» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» 09 октября 2018 г., протокол № 3.

Заведующий кафедрой «Электрооборудование, электропривод и автоматика»
НГТУ

к.т.н., доцент

А.Б. Дарьенков

Профессор кафедры «Электрооборудование, электропривод и автоматика»
НГТУ

д.т.н., профессор

В.Г. Титов

Доцент кафедры «Электрооборудование, электропривод и автоматика» НГТУ
к.т.н., доцент А.В. Серебряков

А.В. Серебряков

603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24

Телефон: (831)436-23-25

Электронная почта: nntu@nntu.ru

