

В диссертационный совет Д 212. 102. 01
на базе федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
“Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева”
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28,
тел./факс: (384 - 2) 36 - 16 - 87,е - mail: siyu.eav@kuzstu.ru.

ОТЗЫВ

официального оппонента Григорьева Максима Анатольевича
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 исследования

Диссертационная работа Филюшова Юрия Петровича посвящена решению задач экономичного управления машинами переменного тока быстродействующего электропривода. Электропривод, являясь энергосиловой установкой, должен наилучшим образом отвечать как динамическим, так и энергетическим требованиям технологического процесса, независимо от нагрузки исполнительных механизмов. Эти требования имеют противоречивый характер, что определяют два различных направления развития электропривода переменного тока. Одно определяет энергоэффективное управление, обеспечивающее формирование электромагнитного момента при минимуме тока статора или минимуме суммарных потерь. Несмотря на несомненное достоинство, такие электроприводы не отличаются высоким быстродействием. Рост реактивной мощности снижает эффективность управления, не позволяя быстро парировать возмущение в условиях ограничения напряжения источника питания, снижая качество и производительность технологических процессов.

Для высокودинамичных систем воспроизведения движения, по аналогии с машинами постоянного тока, управление формируют при стабилизации энергии магнитного поля, частным случаем которого является формирование электромагнитного момента при стабилизации потокосцепления статора, ротора или потокосцепления в воздушном зазоре. Обладая некоторой избыточностью, часть ресурсов управления направляются на стабилизацию потокосцепления, обеспечивая линеаризацию системы, приведя структуру управления к одноканальному виду. Изменение электромагнитного момента в этих условия не отличается экономичностью, поскольку поддерживать потокосцепление на уровне номинальной величины при различной нагрузке двигателя энергетически неэкономично.

Для решения задачи эффективного управления необходимо сопоставить основные свойства электропривода, учитывая величину реактивной мощности, потери в стали, потери в меди, насыщение магнитной системы, мощность

мгновенного изменения энергии магнитного поля при формировании электромагнитного момента, эффективность использования напряжения и мощности, подводимой к обмоткам двигателя. Эти свойства имеют противоречивый характер, что значительно усложняет задачу эффективного управления, обеспечивающего наилучшее сочетание динамических и энергетических свойств электропривода при наиболее полном использовании электрической машины и источника питания. Такое управление зависит от нескольких показателей качества, что обуславливает многокритериальный подход к синтезу управления электроприводом. Выбор тех или иных свойств электропривода определен технологическими требованиями. Сложность заключается в том, что не разработано правило (принцип оптимальности), которое позволило бы ответить на вопрос, какое решение лучше для реализации предъявляемых требований.

Для ответа на поставлены вопросы, в работе рассматриваются следующие задачи исследований:

1. Разработать теорию комплексного подхода к синтезу многомерного управления, способного наряду с формированием электромагнитного момента регулировать энергетические и динамические свойства электропривода, наилучшим образом отвечающие технологическим требованиям.

2. Сформулировать правило выбора решений многокритериальной оптимизации работы электропривода, на основании которого можно формализовать задачу эффективного управления, обеспечивающего наилучшее сочетание энергетических и динамических свойств электропривода в рамках установленных ограничений. Для сопоставления различных решений, разработать аналитический метод интегральной оценки эффективности законов управления электроприводом переменного тока различного типа в переходных режимах.

3. Исследовать изменение состояния электрической машины за минимальное время на примере нелинейного многомерного объекта управления.

4. Разработать динамическую модель системы многомерного управления электроприводом, позволяющую в аналитическом виде определить мгновенные значения регулируемых переменных и выходных величин электрической машины в любой момент времени.

5. Разработать энергоэффективные алгоритмы и структуры многомерного управления электроприводом с синхронными машинами электромагнитного возбуждения и возбуждением от постоянных магнитов (явнополюсным и неявнополюсным).

6. Разработать энергоэффективные алгоритмы и структуры многомерного управления быстродействующим электроприводом на основе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

7. Провести экспериментальные исследования, подтверждающие полученные аналитические выводы.

2. Научная новизна проведенных исследований

1. Сформулировано правило выбора решений многокритериальной оптимизации, отличающееся использованием аналитических связей силовых и энергетических характеристик, учитывая потери в стали и насыщение магнитной системы двигателя.

2. Разработана методология комплексного подхода к синтезу многомерного управления, отличающегося тем, что при апериодическом характере формирования электромагнитного момента обладает способностью регулировать основные свойства электропривода.

3. Определены условия изменения состояния электрической машины за минимальное время при формировании выходных величин. Решение отличается применением вариационных методов при синтезе многомерного управления электроприводом методом обратной модели с линеаризацией по выходу.

4. Впервые предложен метод формализации задачи эффективного управления, обеспечивающего наилучшее сочетание динамических и энергетических свойств электропривода в рамках установленных ограничений. В качестве ограничений могут выступать характеристики основных свойств электропривода, связанные в явном виде посредством показателей качества:

- коэффициент полезного действия;
- показатель интенсивности процессов преобразования энергии;
- показатель эффективности использования напряжения;
- показатель эффективности использования мощности.

5. Предложен метод интегральной оценки эффективности управления электроприводом различного типа в переходных режимах, отличающийся применением функций энергетического состояния, связывающих силовые и энергетические характеристики электрической машины.

6. Получена динамическая модель системы многомерного управления электроприводом, отличающегося способностью наряду с формированием электромагнитного момента, учитывая нелинейность характеристики намагничивания и потери в стали, регулировать динамические и энергетические свойства электропривода в условиях существующих ограничений.

7. Разработана стратегия многомерного управления различными типами машин переменного тока, отличающегося формированием электромагнитного момента при одновременном регулировании энергетических свойств в функции скорости или нагрузки быстродействующего электропривода.

3. Теоретическая значимость полученных результатов

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.

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% .

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.

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.

Диссертация выполнена в соответствии с требованиями раздела II «Положения о присуждении ученых степеней», основное содержание диссертации соответствует научной специальности по классификатору ВАК: 05.09.03 “Электротехнические комплексы и системы - п.3. Разработка, структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем, их оптимизация, а также разработка алгоритмов эффективного управления”.

5. Дискуссионные положения и замечания

1. В работе определено, что основные свойства работы двигателя зависят от аргументов, определяющих положение векторов в электрической машине. Для оценки этих свойств ведены новые показатели качества, такие как интенсивность процессов преобразования энергии и эффективность использования напряжения, подводимого к обмоткам двигателя. А, что известными показателями качества нельзя обойтись?
2. Почему, в качестве регулируемых переменных вы используете потокосцепление. Потокосцепление инерционно. За счет чего потокосцепление быстро изменяется в условия ограничения напряжения.
3. Решения быстрого изменения электромагнитного момента связано со скользящими режимами управления, что непосредственно вытекает из принципа максимума. Известен метод Direct Torque Control управления электромагнитным моментом, предложенный фирмой АВВ. Вы же предлагаете совершенно другие принципы управления, обеспечивающего изменения состояния электрической машины за минимальное время при формировании электромагнитного момента. Как ваш теоретический анализ согласуются с физикой процессов?
4. Хотелось бы прояснить сущность метода линеаризации нелинейной многомерной системы управления, в которой регулируемые переменные связаны гладкой нелинейной зависимостью с выходными величинами.
5. Как возможно унифицировать структуры управления электроприводом с вашими алгоритмами для массового производства?
6. Каково мнение автора в части возможности представления электрической машины как системы с распределенными параметрами? Расчет системы методом конечных элементов позволил существенно уточнить параметры системы при работе в зоне насыщения магнитной системы.
7. Считаю, что в работе необходимо было сопоставить достигнутые технико-экономические показатели с существующими системами в широком диапазоне мощностей.
8. Может ли автор дать оценку предельных возможностей систем по комплексным критериям быстродействия и энергетической эффективности, если считать, что полупроводниковый преобразователь и микропроцессорная система управления являются идеальными звеньями. Насколько предложенные структуры приблизились к этим значениям?

6. Общее заключение

Диссертационная работа Филюшова Юрия Петровича является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, обладающей признаками актуальности, новизны и практической значимости. В ней на основании выполненных автором исследований решена крупная научно-техническая проблема, имеющая важное хозяйственное значение, которая заключается в разработке методологии синтеза управления быстродействующими регулируемым электроприводами переменного тока, обеспечивающая эффективное использование электрической машины и источника питания для реализации различных технологических задач в рамках установленных ограничений.

По совокупности полученных результатов считаю, что диссертационная работа Филюшова Юрия Петровича "Вопросы теории и основы построения энергоэффективного управления быстродействующим электроприводом переменного тока" по объему исследований, их глубине, научной и практической значимости *удовлетворяет* требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам на соискание ученой степени доктора технических наук согласно п. п. 9, 10, 11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней от 24 сентября 2013 г. № 842 с изменениями постановления Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2016 г. № 335 "О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней", *а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.09.03 – "Электротехнические комплексы и системы"*.

Официальный оппонент –
д-р техн. наук (05.09.03), доцент
профессор кафедры автоматизированного электропривода
федерального государственного
автономного образовательного учреждения
высшего образования "Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)"

19 ноября 2018

454080, Российская Федерация, Челябинская область, г. Челябинск
пр-т им. В.И. Ленина, 76
grigorevma@susu.ru
+7 (919) 332-35-96

Григорьев Максим Анатольевич

Верно
Ведущий документовед
О.В. Гришина

