

О Т З Ы В
официального оппонента
на диссертационную работу
Малёва Николая Анатольевича
«Метод автоматизированного многопараметрического
анализа и контроля функционирования электромеханических
преобразователей с применением градиентного алгоритма
вычисления оценок параметров»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты

Для рассмотрения официальному оппоненту представлены следующие материалы:

- 1) диссертационная работа на 216 страницах машинописного текста формата А4, состоящая из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и девяти приложений;
- 2) автореферат на 16 страницах формата А5.

Актуальность темы

Эффективность эксплуатации электромеханических преобразователей энергии (электрических машин) различных типов, используемых в составе автоматизированных электроприводов, существенно зависит от наличия информации о текущих значениях параметров этих преобразователей. Существуют различные методы расчета параметров электромеханических преобразователей энергии, однако все они основываются на допущениях, введение которых, как правило, снижает точность расчета и приводит к возникновению погрешностей расчета. Определение параметров электромеханических преобразователей энергии экспериментальными методами требует проведения многочисленных экспериментов и довольно часто возможно только с использованием дорогостоящих стендов. При этом довольно часто возникает необходимость демонтажа электромеханического преобразователя, что приводит к выводу из эксплуатации всей технологической установки. Следует отметить, что алгоритмы управления электромеханическими преобразователями энергии, входящими в состав автоматизированных электроприводов как постоянного, так и переменного тока, строятся на основе информации о текущих значениях параметров этих

преобразователей. Поэтому построение эффективных с точки зрения энергосбережения алгоритмов управления электромеханическими преобразователями энергии возможно с использованием современных цифровых технологий измерения и численных методов анализа. Поэтому актуальность темы диссертационной работы Малёва Н.А., которая посвящена разработке метода автоматизированного многопараметрического анализа и контроля функционирования электромеханических преобразователей не вызывает сомнений. Особенно актуальной тема диссертационного исследования является для электромеханических преобразователей, применяемых в составе высокодинамичных электроприводов технологического оборудования в различных отраслях промышленности.

Оценка структуры содержания работы

Наименование и содержание глав диссертационной работы объединено внутренним единством достижения поставленной цели и решением широкого круга теоретических и практических задач, направленных на разработку и реализацию метода автоматизированного многопараметрического анализа и контроля функционирования электромеханических преобразователей.

Во В в е д е н и и обоснованы актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, сформулированы научная новизна и практическая значимость, положения, выносимые на защиту, приведены сведения по внедрению результатов и апробации работы.

В п е р в о й г л а в е проведен анализ состояния и перспектив развития работ по исследованию переходных и установившихся режимов электромеханических преобразователей, способам анализа и контроля параметров электромеханических преобразователей, на основании которого автором намечены пути исследования.

Во в т о р о й г л а в е проведен анализ влияния вариаций параметров асинхронного электромеханического преобразователя, вентильного электромеханического преобразователя и электромеханического преобразователя постоянного тока на динамические характеристики с применением обобщённого интегрального критерия, представляющего собой интеграл от невязки между угловыми скоростями вращения эталонной модели и модели с нестабильными параметрами. На основании проведенного анализа для перечисленных типов электромеханических преобразователей выявлены параметры, оказывающие наиболее значительное влияние на динамические характеристики.

В третьей главе с применением математического аппарата теории чувствительности разработаны математические модели вычисления вектора чувствительности, суммарной дисперсии и относительных оценок параметров асинхронного электромеханического преобразователя, вентильного электромеханического преобразователя и электромеханического преобразователя постоянного тока, которые реализованы в виде численных моделей в *MatLab/Simulink*. Разработанные математические и численные модели могут быть использованы для решения комплексной задачи многопараметрического автоматизированного анализа и контроля электромеханических преобразователей на этапах проектирования, испытаний опытных образцов, а также эксплуатации в процессе функционирования в составе рабочих комплексов.

Четвертая глава посвящена вопросам практической реализации и экспериментального исследования предложенного в работе метода многопараметрического анализа и контроля функционирования электромеханических преобразователей. Работоспособность, эффективность и высокая точность данного метода подтверждены с помощью исследования на экспериментальной установке с электромеханическим преобразователем постоянного тока.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы и показаны перспективы дальнейших исследований.

Методы исследования

Для решения поставленных задач в диссертационной работе применяются положения и методы теории электрических машин, теории обобщённого электромеханического преобразователя, теории чувствительности, теории систем, теории дифференциальных и разностных уравнений, а также методы аппроксимации и сглаживания экспериментальных данных, численные методы решения систем дифференциальных уравнений, метод наименьших квадратов, метод пространства состояний.

Достоверность и обоснованность полученных результатов и выводов диссертационной работы подтверждается корректным использованием математического аппарата, обоснованностью принятых допущений и адекватностью используемых при исследовании математических моделей, совпадением результатов теоретических

исследований с экспериментальными данными, а также с результатами, полученными другими исследователями.

Соответствие паспорту специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты

Объект исследования – электрические машины, выполняющие электромеханическое преобразование энергии в составе рабочих комплексов.

Предмет исследования – методы, алгоритмы и программы, позволяющие осуществить анализ нестабильных параметров и контроль функционирования электромеханических преобразователей в процессе эксплуатации.

Цель диссертационной работы – разработка метода многопараметрического автоматизированного анализа и контроля электромеханических преобразователей на основе градиентного алгоритма вычисления обобщённого интегрального критерия Q , позволяющего оценить вектор нестабильных параметров χ электромеханических преобразователей в процессе эксплуатации в составе рабочих комплексов.

Объект, предмет, цель и область исследований соответствуют паспорту научной специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты в части п. 3 – разработка методов анализа и синтеза преобразователей электрической и механической энергии и п. 5 – разработка подходов, методов, алгоритмов и программ, обеспечивающих проектирование, надёжность, контроль и диагностику функционирования электрических, электромеханических преобразователей и электрических аппаратов в процессе эксплуатации, в составе рабочих комплексов.

Научная новизна представленной диссертационной работы заключается в следующем:

1) предложен и апробирован на математических моделях обобщённый интегральный критерий Q , позволяющий оценить степень различия динамических процессов, происходящих в электромеханических преобразователях при номинальных значениях параметров, и динамических процессов при параметрических возмущениях, и отличающийся тем, что интеграл невязки, формируемый на основании данных о разности угловых скоростей вращения электромеханического преобразователя с флуктуацией параметров и эталонной модели электромеханического преобразователя, дает возможность отображения функционала $Q(\chi)$ в форме Q -таблиц и χ -

зависимостей с последующим получением оценок нестабильных параметров электромеханических преобразователей;

2) получены дифференциальные уравнения чувствительности электромеханических преобразователей различных типов, отличающиеся тем, что на их основе сформированы векторно-матричные структурные схемы и оригинальные *Simulink*-модели вычисления функций чувствительности, позволяющие выявить параметры, оказывающие максимальное воздействие на динамические свойства электромеханических преобразователей, а также наиболее чувствительные к параметрическим возмущениям координаты;

3) разработан и экспериментально проверен метод многопараметрического автоматизированного анализа и контроля функционирования электромеханических преобразователей на основе градиентного алгоритма вычисления оценок параметров с применением машины постоянного тока, отличающийся тем, что эталонная модель и модели чувствительности представлены в дискретной форме; применена цифровая фильтрация сигнала невязки, снижающая уровень шумов; оценки нестабильных параметров – активного сопротивления и индуктивности якорной цепи и момента инерции – вычисляются на основе зависимости вектора нестабильных параметров от обобщённого интегрального критерия с приемлемой в инженерной практике точностью.

Практическая ценность диссертационного исследования заключается в следующем:

1) разработаны технические решения по совершенствованию методов, алгоритмов и программ, обеспечивающих контроль функционирования электромеханических преобразователей, которые позволяют обеспечить малую чувствительность предложенного метода многопараметрического анализа и контроля электромеханических преобразователей к наличию шумов и импульсных помех в измерительном канале;

2) разработанные алгоритмы и программы, составляющие основу метода многопараметрического анализа и контроля функционирования электромеханических преобразователей с применением градиентного алгоритма вычисления оценок параметров, будут полезны на этапах опытных испытаний, контроля и диагностики электромеханических преобразователей в процессе эксплуатации в составе рабочих комплексов;

3) полученные научные результаты позволяют расширить теоретическую базу в области разработки подходов, методов, алгоритмов и программ, обеспечивающих анализ и контроль функционирования электромеханических преобразователей;

4) сформулированы рекомендации по применению метода многопараметрического анализа и контроля функционирования электромеханических преобразователей, позволяющие обеспечить требуемое качество функционирования электромеханических преобразователей в процессе эксплуатации в составе рабочих комплексов.

Реализация результатов работы

Научные и практические результаты диссертационной работы приняты к использованию в деятельности электрического цеха Казанской ТЭЦ-1 и ООО «Стэк Мастер» (г. Казань), а также в учебном процессе ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» при подготовке магистров по направлениям 12.04.01 «Приборостроение», магистерская программа «Микропроцессорная техника и программное обеспечение измерений» и 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника», магистерская программа «Электроприводы и системы управления электроприводов».

Апробация работы

Работа прошла хорошую апробацию. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на международных и региональных конференциях, опубликованы в 22 печатных работах, в том числе: две статьи в изданиях, цитируемых в базах данных *Scopus*, семь статей в изданиях, рекомендуемых ВАК по специальности 05.09.01, одно учебное пособие с грифом ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» и 12 публикаций в материалах конференций различного уровня.

Автореферат отражает основное содержание диссертационной работы, написан литературным языком с использованием терминологии, принятой в данной отрасли науки и техники, стиль изложения – доказательный.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1) на основании рис. 3.9 в тексте третьей главе диссертации автор пишет, что максимальную погрешность в отклонение скорости вращения двигателя постоянного тока вносит момент инерции, на стр. 119 имеется утверждение о том, что наибольшее влияние на отклонение скорости

вращения вентильного двигателя оказывает индуктивность L_q , а на стр. 121 сделан вывод о том, что влияние момента инерции на скорость вращения вентильного двигателя пренебрежимо мало, однако при этом не ясно, являются ли данные утверждения справедливыми для двигателей данных типов разной мощности;

2) при исследовании двигателя постоянного тока и вентильного двигателя в качестве выходных координат рассматриваются скорость вращения и электромагнитный момент, при этом автор не обосновывает, почему при исследовании асинхронного двигателя в качестве выходной координаты рассматривается только электромагнитный момент, однако для практической реализации данного метода необходимо использовать достаточно дорогостоящие датчики момента;

3) из текста на стр. 108 – 109 не ясно, с какой целью переобозначены переменные состояния вентильного двигателя;

4) в комментариях к рис. 3.35 автор не поясняет, чем обусловлены столь резкие изменения относительных оценок индуктивностей в момент времени 0,24 с;

5) известно, что одним из основных параметров двигателя постоянного тока является постоянная электромагнитного момента и противо-ЭДС якоря, однако автор не поясняет, почему при вычислении линейного интегрального критерия для двигателя постоянного тока этот параметр не рассчитывается;

б) кривые на рис. 3.12, 3.16, 3.17, 3.19 – 3.24 и 3.34 не имеют обозначений, что усложняет анализ данных иллюстраций.

Оценивая уровень работы в целом, считаю, что диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование на соискание ученой степени кандидата технических наук, в ней содержится решение задачи разработки и реализации метода автоматизированного многопараметрического анализа и контроля функционирования электромеханических преобразователей, которая имеет существенное значение для теории и практики электромеханических преобразователей, предназначенных для приведения в движение технологического оборудования в различных отраслях промышленности.

Представленная диссертационная работа «Метод автоматизированного многопараметрического анализа и контроля функционирования электромеханических преобразователей с применением градиентного алгоритма вычисления оценок параметров», соответствует критериям

«Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор – Малёв Николай Анатольевич – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты.

Официальный оппонент

заведующий кафедрой

электропривода и электротехники

Федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения высшего образования

«Казанский национальный исследовательский

технологический университет».

доктор технических наук, доцент.

Макаров Валерий Геннадьевич

Докторская диссертация защищена по специальности

05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Казанский национальный исследовательский технологический университет»,

кафедра электропривода и электротехники

420015 г. Казань, ул. К. Маркса, 68

тел. (843) 231-41-27

e-mail: electroprivod@list.ru

Подпись:

удостоверяется.

Начальник ОК ИД ФГБОУ ВО «КНИТУ»

О.А. Перельгино

2021

