

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Метелькова Владимира Павловича
«Развитие теории и разработка методов оценки теплового состояния
электродвигателей при проектировании и эксплуатации
асинхронных электроприводов»,
представленную на соискание ученой степени
доктора технических наук по специальностям
05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты,
05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

На отзыв представлены:

- диссертационная работа, состоящая из введения, шести глав, заключения, библиографического списка из 329 наименований. Полный объем работы составляет 437 страниц;
- автореферат диссертации с общей характеристикой работы, кратким изложением основного содержания и результатов исследования.

Актуальность темы диссертации

В настоящее время в общепромышленном электроприводе в большей части решены проблемы управления и качества регулирования координат, однако с их решением актуальными стали вопросы повышения надёжности. Следует отметить, что обеспечение надёжности может выполняться совершенно разными методами. Это может быть изменение режимов ШИМ для снижения пульсаций синфазного напряжения относительно корпуса электродвигателя, это обеспечение постоянства мощности потерь в инверторе для снижения эффекта термоциклирования, это обеспечение бездатчикового режима работы на случай отказа датчика положения ротора и другие методы.

В представленной диссертационной работе основное внимание уделяется вопросам превентивной диагностики состояния электродвигателя с целью исключения его внезапного выхода из строя и организации защит. Проработаны методы оценки теплового состояния электродвигателей и организации защит электродвигателя алгоритмическими методами. Кроме того, в работе производится оценка старения изоляции по емкостной

составляющей тока и анализируется характер процессов при работе системы «инвертор – электродвигатель» с широтно-импульсным управлением.

Обеспечение безопасного для двигателя режима работы, ограничение его работы в запредельных режимах, расчёт остаточного ресурса изоляции не в полной мере исследованные вопросы и нерешённые как теоретически, так и практически в общепромышленных преобразователях частоты, поэтому предмет исследования и тема диссертационной работы несомненно актуальны.

Новизна исследований и полученных результатов

В работе проведён исчерпывающий обзор литературных источников, включая отечественные и зарубежные, проведена большая работа по их систематизации. Предложенные автором математические описания и методы оценки теплового состояния и ресурса изоляции электродвигателей выверены с точки зрения практической реализуемости. По этому критерию они являются новыми относительно решений из открытых литературных источников.

Имеющиеся у оппонента сведения в части, например, функционировании аналогичных защит по теплу в современных преобразователях частоты иностранного и отечественного производства позволяют утверждать, что полученные методы новы по отношению к применяемым в режиме «ноу-хау» ведущими мировыми производителями электроприводов. Так, известные европейские компании, производящие преобразователи частоты имеют лишь одномассовую тепловую модель, не обеспечивающую адекватной оценки теплового состояния электродвигателя, что приводит либо к его постоянному перегреву и ускоренному старению, либо к недоиспользованию электродвигателя по установленной мощности. Режим контроля изоляции по токам утечки предусмотрен только в одном станочном электроприводе, находящемся в разработке, и работать он может только в режиме остановленного электродвигателя.

Таким образом, исследования и полученные результаты, представленные в диссертации, обладают новизной.

Практическая значимость работы

Предложенные в диссертации решения построены на обобщении большого числа исследований. Они критически проанализированы и выделено главное, убраны лишние

факторы, не оказывающие существенное влияние на точность, доработаны математические модели с учётом экспериментальных исследований. Все решения построены с учётом ограничений на возможности по проведению экспериментов по определению параметров математических моделей, разработаны алгоритмы, представленные в работе, которые обеспечивают возможность практической реализации решений на базе имеющейся силовой и управляющей элементной базы внутри общепромышленного преобразователя частоты или требующие лишь незначительной модификации измерительной части.

Диссертационная работа в полном объеме применима для организации защит и превентивной диагностики отказов электродвигателей с частотным регулированием средствами штатной системы управления преобразователя частоты, что говорит о несомненной практической значимости диссертационного исследования.

Полученные результаты можно использовать, в том числе, в образовательной деятельности в рамках курсов «Теория электропривода», «Системы управления электроприводов» и других курсов.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Диссертационная работа содержит обоснование всех принятых решений, которые продиктованы скрупулёзным анализом литературных источников, переработаны и верифицированы статистическими и математическими методами. Все научные положения, выводы и рекомендации были обоснованы и подтверждены экспериментально.

Подтверждение опубликованных основных результатов работы

Основные результаты работы были опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Апробация работы проводилась на международных конференциях по электроприводу более 10 лет, включая конференции АЭП в 2010, 2012, 2014, 2016 годах, International Symposium on Power Electronics, Electric Drives 2016, Automation and Motion, International Power Electronics and Motion Control Conference 2016 и других. В том числе на английском языке опубликовано 9 статей, 22 статьи на русском языке в журналах перечня ВАК и/или входящие в наукометрическую базу данных Scopus.

Соответствие работы научной специальности

Диссертационная работа выполнена по специальностям 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты и 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы». В части специальности 05.09.01 ведётся исчерпывающая проработка тепловых моделей электромеханических преобразователей энергии и вопросов деградации изоляции. В части специальности 05.09.03 происходит привязка объекта исследования к системе, в составе которой он работает, а именно взаимодействие с преобразователем частоты или тиристорным регулятором напряжения, системой измерения токов или токов утечки, алгоритмами организации оценки теплового состояния электродвигателя программным путём. Таким образом, представленная работа полностью соответствует паспорту специальностей 05.09.01 и 05.09.03.

Вопросы и замечания по содержанию диссертационной работе

1. Было бы более наглядно графики температуры в тепловых экспериментах представлять в градусах, а не в выходном напряжении термопары. Например, рис. 3.14, 3.15 и др. Аналогичное замечание относится к обработке кривых нагрева и вычисления коэффициентов аппроксимирующих зависимостей в вольтах. Это снижает наглядность, хотя не сказывается на итоговом результате.

2. Любые измерения тепловых процессов требуют значительного времени проведения эксперимента, за которое температура помещения может существенно (относительно изменения температуры электродвигателя) меняться (стр. 159 — 4°C). Требуется пояснения, как проводилась коррекция на рост температуры воздуха в помещении за время эксперимента? Был ли рост температуры в помещении линейным?

3. Вопрос старения изоляции хорошо рассмотрен в работе. Можно ли сравнивать работу изоляции в конденсаторах, где есть все экспериментально подтверждённые зависимости скорости старения от температуры, с работой изоляции электродвигателя? В чём отличия?

4. В работе показано, что переменный график нагрузки не позволяет оценивать старение изоляции по среднему моменту, однако не сказано, имеются ли проблемы термоциклирования (механического или иного характера) при старении изоляции электродвигателей, например, в тяговых электроприводах, работающих с существенно переменным графиком нагрузки и претерпевающих существенные регулярные температурные колебания?

5. При построении тепловых моделей программным путём программист имеет дело с очень большими постоянными времени в термической части и малыми постоянными времени в электромеханической. Такая большая разница приводит к необходимости выбирать правильно разрядность вычислений, чтобы обеспечить необходимую точность и сходимость на длительном интервале времени при минимальном использовании ресурсов управляющего микроконтроллера. Есть ли какие-то оценки по необходимой точности вычислений для решения задачи тепловой защиты программным методом?

6. Оценку ухудшения изоляции предлагается делать по емкостной составляющей тока и характеру развития этого тока в процессе переключения силовых транзисторов. Будет ли изменяться емкостная составляющая тока при изменении температуры силовых транзисторов, так как она влияет на время переключения силового ключа (особенно время включения)?

Заключение

Указанные замечания носят дискуссионный характер и не снижают общего хорошего впечатления о работе. Диссертационная работа Метелькова Владимира Павловича «Развитие теории и разработка методов оценки теплового состояния электродвигателей при проектировании и эксплуатации асинхронных электроприводов», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук, выполнена на высоком уровне с использованием современных методов исследований и представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Текст работы изложен грамотным языком и хорошо оформлен. Все приведённые в работе положения подкреплены результатами моделирования и экспериментов. Работа выполнена в объёме, достаточном для диссертации, представленной на соискание учёной степени доктора технических наук. Актуальность темы исследований не вызывает сомнений. В диссертации решена научная проблема, направленная на решение задачи по повышению надёжности и превентивной диагностики электроприводов, что имеет важное хозяйственное значение для развития электротехнической отрасли страны, в частности, для электропривода в части систем управления и силовых полупроводниковых преобразователей, в части электродвигателей и построения рекомендаций по организации их защит с применением методов, разработанных в диссертации.

Диссертация Метелькова Владимира Павловича полностью соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальностям 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты, 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент, доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой Автоматизированного электропривода
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Анучин Алексей Сергеевич

26 марта 2020 г.

Подпись _____
удостоверяю
начальник управления по
работе с персоналом



Полное наименование организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Юридический адрес:

111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д.14

Тел.: +7 495 362-75-60

E-mail: universe@mpei.ac.ru

Подпись Анучина Алексея Сергеевича заверяю