

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Мудрова Михаила Валентиновича
«Разработка и исследование программно-аппаратного комплекса
для испытаний и наладки электроприводов»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

На отзыв представлены:

- диссертационная работа, состоящая из введения, четырех глав с выводами, заключения, библиографического списка из 97 наименований. Полный объем работы составляет 235 страниц;
- автореферат диссертации с общей характеристикой работы, кратким изложением основного содержания и результатов исследования.

Актуальность темы диссертации

Вопрос проведения испытаний электроприводов и другого электротехнического оборудования при сокращении затрат на эти испытания является актуальным в современном мире. Разрабатываемые и исследуемые автором диссертации системы HiL и PHiL позволяют заменять реальные установки или их наиболее дорогую часть математическими моделями, функционирующими в режиме реального времени. Кроме того, последовательная разработка систем управления с применением сначала HiL, а затем проверка силовых преобразователей с применением PHiL обеспечивает максимальную безопасность исследований, исключая на начальном этапе ошибки в проектировании и программировании системы управления, которые могут приводить к выходу из строя дорогостоящего оборудования. Поэтому тема диссертационного исследования актуальна.

Новизна исследования и полученных результатов

В мире производится большая номенклатура оборудования систем HiL и PHiL, однако вопросы проектирования и устройства данных систем освещаются производителями коммерческого оборудования крайне неохотно. В данной работе представлено законченное решение для электроприводов массового применения. Получены методики проектирования систем симуляции физических процессов в

Вх. №05-19/1-3
от 14.01.20г.

целочисленной арифметике с учетом сверхмалого шага интегрирования и вычислительных ограничений программируемых логических интегральных схем, что определяет особенности в подходе к синтезу таких систем, не освещенные в отечественной и мировой литературе. Методики верифицированы на математических моделях и натурных экспериментах. Таким образом, можно заключить, что работа имеет явно выраженную научную новизну теоретических исследований и полученных практических результатов.

Практическая значимость работы

Практическая значимость работы заключается в разработке методики проектирования систем симуляции электрооборудования типов HiL и PHiL. Рассмотренные и реализованные в работе модели и программно-аппаратные комплексы симуляции электроприводов постоянного тока с широтно-импульсным преобразователем и переменного тока с питанием от тиристорного регулятора напряжения и с питанием от автономного инвертора напряжения являются наиболее распространёнными в промышленных применениях. Предложенные решения могут быть модернизированы для имитации электропровода с синхронным электродвигателем или электроприводов с иными топологиями инверторов. Решения достаточно подробно описаны, повторимы и реализуемы в условиях исследовательских центров, занимающихся разработкой электроприводов и систем управления ими. Решения в части HiL, не требующие больших материальных вложений, применимы в учебном процессе при изучении таких предметов как «Микропроцессорные средства в электроприводе», «Системы управления электроприводов», «Теория электропривода» и др.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Диссертационная работа содержит обоснование всех принятых решений, которые скрупулёзно верифицированы путём математического моделирования с оценкой погрешностей. Все научные положения, выводы и рекомендации были обоснованы и подтверждены экспериментально.

Подтверждение опубликования основных результатов работы

Основные результаты работы были опубликованы в рецензируемых научных изданиях. В том числе на английском языке опубликовано 8 статей, из которых 3 на одной из главных международных конференций в области электроприводов и силовой

электроники European Conference on Power Electronics, Applications, EPE-ECCE Europe в 2014, 2016 и 2018 годах.

Соответствие работы научной специальности

Диссертационная работа выполнена по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы». Она охватывает вопросы электромеханического преобразования энергии, проектирования силовых полупроводниковых преобразователей и их моделирования, синтез цифровых систем управления и реализацию систем управления и моделей для симуляции на базе программируемых логических интегральных схем, что полностью соответствует определению специальности.

Вопросы и замечания по содержанию диссертационной работе

1. Актуальность работы в тексте диссертации сформулирована не лучшим образом, хотя работа, несомненно, актуальна, о чём оппонент подробно упоминает в первом разделе отзыва.
2. В уравнении 2.1 T_j не может быть механической постоянной времени. Не сходится размерность.
3. Выбор системы уравнений для описания асинхронного двигателя, возможно, и верный, однако недостаточно обоснованный. Автор ссылается, что представленная модель не использует координатных преобразований, которые сложно реализуемы на ПЛИС из-за необходимости расчёта функций синуса и косинуса. Однако угол для координатных преобразований изменяется непрерывно и относительно медленно, что позволяет использовать упрощенные методы вычисления тригонометрических функций. В работе следовало бы провести анализ точности для различных моделей.
4. На странице 37 определены уравнения для ШИП, однако не учтён режим прерывистого тока, возникающий, если ток электродвигателя спадёт до нуля во время «мертвого» времени.
5. Описательная часть местами очень короткая. Так, не указаны параметры быстродействия ЦАП в системе на рисунке 2.40, не определены характеристики используемой ПЛИС в логических вентилях и/или других блоках, не показано, какой объём ресурсов выбранной ПЛИС в итоге задействовано программой, не

показана в масштабе отработка широтно-импульсного управляющего воздействия для системы ШИП-ДПТ в системе HiL.

6. Сколько длится цикл расчёта системы HiL, и какая максимальная частота цикла модели достижима для используемых программируемых логических интегральных схем?
7. Какие способы имитации датчиков электрических величин применялись в рассматриваемых системах?
8. Автор предлагает использовать транзисторы более высокого быстродействия для имитации нагрузки в инверторах, построенных на базе IGBT. Такой подход не позволяет проводить исследования инверторов на новых силовых полупроводниковых приборах, таких как SiC и GaN.
9. Увеличение частоты коммутации ключей имитатора нагрузки ведёт к существенному росту коммутационных потерь, что выражается не только в уменьшении энергетической эффективности проведения опыта, но и в необходимости увеличивать установленную мощность имитатора. Имеются ли решения, позволяющие проводить имитацию с сопоставимыми мощностями силовых преобразователей в диапазоне мощностей от 50 до 300 кВт?

Заключение

Указанные замечания носят дискуссионный характер и не снижают общего положительного впечатления о работе. Диссертационная работа Мудрова Михаила Валентиновича «Разработка и исследование программно-аппаратного комплекса для испытаний и наладки электроприводов», представленная на соискание ученой степени кандидата 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 кандидата технических наук. Актуальность темы исследований не вызывает сомнений. В диссертации получены новые научно-обоснованные технические результаты, направленные на решение задачи по созданию комплексов для испытаний, наладки и исследования электроприводов, что имеет существенное значение для развития электротехнической отрасли страны, в частности, для электропривода в части систем управления и силовых полупроводниковых преобразователей.

По содержанию и по форме работа соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а ее автор Мудров Михаил Валентинович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 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
09 января 2020 г.

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

