

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

Электропривод является сложной технической системой, характеризуемой большой потребляемой мощностью, значительными габаритами, высокими требованиями к качеству регулирования выходных координат, сложными алгоритмами управления. С появлением быстродействующих вычислительных средств появилась возможность создавать программно-аппаратные модели управляемых преобразователей и электродвигателей, реализуемые программными средствами на специализированных интегральных схемах, позволяющие принимать сигналы реальных систем управления, в том числе в форме ШИМ, и передавать системе управления отклик электропривода в форме физических сигналов обратных связей по регулируемым координатам. Это даёт возможность выполнять наладку и испытания электротехнических комплексов преобразования электроэнергии без использования реального дорогостоящего электрооборудования и электродвигателей.

Поэтому исследование Мудрова М В. по разработке комплексов программно-аппаратного моделирования для испытаний и наладки систем управления электроприводов на основе методов моделирования силовой части управляемого преобразователя, электродвигателя и нагрузки в реальном времени с помощью программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) является актуальным.

Новизна исследований и полученных результатов

Новизна исследований и полученных результатов заключается в следующем.

1. Обоснованы требования к необходимости реализации параллельного (во времени) решения дифференциальных уравнений на ПЛИС и показана возможность такой реализации с помощью методов Адамса-Бэшфорта. Определены области применения методов различного порядка: при интервале квантования по времени одна микросекунда рекомендовано применять метод Эйлера, при большем значении интервала квантования – методы Адамса-Бэшфорта второго и третьего порядков.

2. Из условия обеспечения достаточной точности решения дифференциальных уравнений, определяемой по графику среднеквадратичного отклонения вычисленного значения тока электродвигателя в дискретной ПЛИС-модели от решения в непрерывном времени, определено минимально необходимое число разрядов для целой и дробной частей переменных ПЛИС-моделей. Показано, что для двигателя постоянного тока «граничное число разрядов», не повышающее существенно точность по переменной тока якоря, составляет 35 разрядов для дробной части всех переменных модели, для ПЛИС-

Вх. №05-19/1-2
от 14.01.20г.

модели асинхронного электродвигателя – 32 разряда для дробной части всех переменных модели.

3. Предложена структура силового программно-аппаратного симулятора тока с подключением выходных сигналов системы управления на вход испытуемого преобразователя и, параллельно, на вход программно-аппаратной модели реального времени испытуемого преобразователя, электродвигателя и нагрузки, с подачей физического сигнала обратной связи по току в систему управления испытуемого преобразователя от модели электродвигателя. Оригинальность структуры подтверждена свидетельством на полезную модель.

4. Автором выполнено исследование систем управления силовых программно-аппаратных симуляторов электроприводов постоянного и переменного тока на компьютерных моделях.

Изучены структуры симулятора электропривода постоянного тока с сигналом задания от системы управления испытуемого преобразователя с различными видами обратных связей: по току реактора и обратной связью от модели реального времени преобразователя, электродвигателя и нагрузочного устройства. Показано (на осциллограммах ошибок воспроизведения реакции САР тока якоря в симуляторах различной структуры), что динамические показатели симулятора с ОС по току реактора выше, чем симулятора с ОС от модели реального времени. Аналогичные результаты получены для симуляторов электроприводов переменного тока с векторной системой управления.

Значительное внимание в работе уделено исследованию симуляторов с улучшенными динамическими свойствами, в частности, выполненных по структуре следящей системы регулирования тока в реакторе и с блоком компенсации инерционности.

Показано, что наилучшими свойствами, по сравнению с известными решениями, обладает силовой симулятор, выполненный по предложенной автором структуре, в состав которой входит блок компенсации возмущающего воздействия со стороны испытуемого преобразователя в контуре тока нагрузочного преобразователя, причем передаточная функция блока компенсации получена методом преобразования структурной схемы контура, а сигнал с выхода блока компенсации вычитается из сигнала возмущения.

Практическая значимость работы

Практическая значимость работы состоит в возможности выполнения наладки, тестирования и испытаний систем управления или систем управления электроприводом в комплекте с управляемым преобразователем без использования реального электрооборудования и электрических машин, с возможностью воспроизведения в процессе наладки и испытаний реальной формы тока электродвигателя и управляемого преобразователя.

Результаты работы следует использовать в организациях и на предприятиях, занимающихся разработкой и испытаниями систем управления и управляемых преобразователей для питания электродвигателей постоянного и переменного тока.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность научных положений подтверждается:

корректным применением классических методов теории автоматического управления, численных методов решения дифференциальных уравнений, апробированных математических моделей электродвигателей постоянного тока и асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором;

оценкой погрешности, возникающей при принятии соответствующих допущений, и не превышением погрешности обычной точности инженерных расчетов;

результатами исследования типовых режимов работы электроприводов постоянного и переменного тока, полученных с использованием программно-аппаратных симуляторов и моделей, реализованных в математическом пакете *Matlab*;

подтверждением результатов компьютерного моделирования сходимость с экспериментальными данными;

метрологическим обеспечением и точностью измерительной аппаратуры для получения и обработки результатов экспериментальных исследований.

Подтверждение опубликования основных результатов работы

Согласно представленным в автореферате сведениям, основные научные положения диссертации опубликованы в печатных работах, которые включают три статьи в журналах из перечня рекомендованных ВАК для публикации результатов научных исследований, и 11 докладов на международных конференциях, индексированных в международной реферативной базе *Scopus*.

Научное положение о новизне структуры силового симулятора для испытания преобразователей совместно с системой управления подтверждено патентом на полезную модель.

Имеются шесть свидетельств на программы для ЭВМ по реализации программной части симуляторов.

Соответствие работы научной специальности

Работа соответствует паспорту научной специальности 05.09.03 *Электротехнические комплексы и системы* в части физического, математического и компьютерного моделирования компонентов электротехнических комплексов и систем, а также разработки, структурного и параметрического синтеза электротехнических комплексов и систем, и разработки алгоритмов эффективного управления.

Вопросы и замечания по содержанию диссертационной работы

1. Автор выносит на защиту (четвёртое научное положение на с. 12 диссертации) положение о научной новизне результатов по систематизации топологии силовых цепей симуляторов электроприводов постоянного и переменного тока и их математическому описанию, выполненных по структуре ТПН-АД, ТП-Д и ШИП-ДПТ. Однако в диссертации в обзоре литературы отсутствует анализ публикаций по теме исследований в области топологии силовых цепей для программно-аппаратных симуляторов управляемого преобразователя, электродвигателя и нагрузки, что не позволяет сделать вывод о научной значимости решения задачи разработки и исследования топологии силовых цепей для программно-аппаратных симуляторов основных систем электроприводов.

2. В работе не представлена методика исследования электропривода по каналу возмущения со стороны механизма, что является одной из наиболее актуальных проблем при проектировании и наладке электропривода. В частности, на рис. 3.3, где показана предложенная автором «структура РНiL-симулятора тока с сигналом управления по выходу системы управления испытуемого преобразователя с сигналом ОС по току в систему управления испытуемого преобразователя от модели реального времени», отсутствует переменная – момент сил сопротивления, которая должна поступать на модель двигателя и нагрузки.

3. Одной из актуальных задач исследования полупроводниковых преобразователей в составе электропривода является изучение влияния преобразователя на питающую сеть. Каким образом возможно проведение таких исследований на симуляторах, рассматриваемых в работе, и какой симулятор наилучшим образом позволяет решить такую задачу?

4. В выводах по третьей главе автор указывает: «Для проведения исследований, связанных с системами управления нагрузочных преобразователей, предложены и верифицированы компьютерные модели силовых цепей PHiL-симуляторов электроприводов постоянного и переменного тока». Каким образом проведена верификация моделей и что автор использовал в качестве эталона силовых цепей электропривода?

5. При анализе реакции некомпенсированной и следящей САР тока силового симулятора на входное линейное воздействие (с. 142) автор указывает, что «результат проведённого эксперимента демонстрирует отработку задающего воздействия без статической ошибки». В процессе линейного изменения задающего воздействия статический режим отсутствует. По всей видимости, имелась в виду динамическая ошибка по скорости изменения задающего воздействия.

6. При оценке качества переходных процессов в исследуемых системах автор применяет косвенные показатели – среднеквадратическую ошибку или среднеквадратичное отклонение. Как правило, данный показатель используют при решении задачи синтеза систем управления вследствие того, что абсолютное значение любой интегральной оценки не представляет интереса вследствие отсутствия однозначной связи между характером изменения выходной переменной и значением ошибки, а сама оценка служит только для сопоставления вариантов настройки одной и той же системы. Для оценки качества процессов в системе применяют прямые показатели качества.

7. Следует пояснить, почему точность компьютерной модели выше точности модели, реализованной в симуляторе, если в обоих случаях использован идентичный набор допущений и однотипное математическое описание объекта.

8. Каков физический смысл зависимости среднего значения среднеквадратичных отклонений переменной x_l от девиации всех параметров асинхронного двигателя, представленной на рис. 2.14?

9. Полученные результаты справедливы для систем с линейными регуляторами тока и не могут быть распространены на широко используемые в технике управления двигателями переменного тока релейные регуляторы тока. Однако автор нигде не указывает на наличие такого ограничения.

10. Список использованных источников содержит ссылки на некую «официальную информацию» (ссылки с номера 42 по номер 77). Какой орган официально удостоверил приведённую информацию и какое отношение данные ссылки имеют к научному содержанию работы?

11. Общепринятым является исследование реакции системы на ступенчатое воздействие $h(t)=1$. На рис. 10.3 представлена реакция выходной переменной контура скорости ω на входное ступенчатое воздействие $\omega_{вх} = 1 \cdot 10^{-2}$. Необходимо пояснить, почему принято данное значение, так как при таком задающем воздействии невозможно проверить работу системы «в большом». При коэффициенте усиления регулятора скорости, принятом в работе, и равном 39,1, задающее воздействие по величине момента составит 0,391, а регулятор скорости будет работать на линейном участке характеристики. Аналогично для $i_{sy\text{ вх}} = 0,1$ (рис. 10.2).

12. Редакционные замечания.

- a) На рис. 3.4...3.7 не расшифровано обозначение « $2 - Ud$ ».
- b) На с. 176 следовало использовать термины: *угловая скорость*, вычисленная в компьютерной модели и в HiL-симуляторе и *угловая скорость двигателя*.
- c) На с. 177 автор использует термин «*электромагнитный поток возбуждения*». Следовало применить термин «*магнитный поток возбуждения*».
- d) В тексте на с. 218 постоянная времени механической части привода T_j названа эквивалентной постоянной времени главной цепи двигателя.
- e) Подрисовочная надпись к рис. 10.3 указана неверно.
- f) Косая черта в шапке таблиц не используется (табл. 4.2, 4.3).

Заключение

Диссертация написана с использованием общепринятой научной и технической терминологии. Изложенный материал представлен последовательно и аргументировано. Оформление диссертации соответствует требованиям, предъявляемым к научным квалификационным работам.

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические разработки в области комплексов программно-аппаратного моделирования для испытаний и наладки систем управления и управляемых преобразователей электроприводов постоянного и переменного тока, имеющие существенное значение для экономики отрасли.

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, д-р техн. наук, ст. научн. сотр.,
заведующий кафедрой электрификации горных предприятий
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»
Карякин Александр Ливиевич



10 января 2020 г.

Полное наименование организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет»

Юридический адрес:

620144, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, д. 30

Тел.: +7 (343) 251-48-38

E-mail: office@ursmu.ru

Л

Подпись Карякина Александра Ливиевича заверяю.

Начальник отдела кадров

10.01.2020



Т. Б. Сабанова

