



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

ул. Профессора Попова, д.5, Санкт-Петербург, 197376
Телефон: (812) 234-46-51; факс: (812) 346-27-58; e-mail: info@etu.ru; <https://etu.ru>
ОКПО 02068539; ОГРН 1027806875381; ИНН/КПП 7813045402/781301001

24.12.2019 № 100102/2166
На № 67-19-17-103 от 04.12.2019

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Отзыв ведущей организации

Д.Т.Н., доц. В.Н. Шелудько

«24» 12 2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного
автономного образовательного учреждения высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

на диссертационную работу Школина Алексея Николаевича
«Математическое моделирование процессов в интегральных
микросхемах импульсных преобразователей напряжения при внешних
тепловых и электрических воздействиях», представленную
на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ

Актуальность темы. Усложнение современных электропреобразовательных устройств, связанное с непрерывным развитием элементной базы и расширением спектра применяемых технологий автоматического регулирования и динамического управления, обуславливает проявление в них глубоко нелинейных эффектов. В определенных сочетаниях указанные эффекты могут приводить к маловероятным, но тем не менее возможным состояниям, при возникновении которых

электропреобразовательные устройства переходят в критические режимы работы. В особенности это касается одного из перспективных направлений развития электропреобразовательной техники, а именно, устройств с импульсным регулированием. Реализация таких режимов на практике, в том числе на этапе отработки алгоритмов управления электропреобразовательными устройствами в макетном исполнении, является нежелательной и потенциально связана с выходом из строя оборудования и как следствие со значительными материальными затратами. Поэтому целесообразным является предварительный анализ всевозможных режимов работы таких устройств с использованием математических моделей, что, в свою очередь, обуславливает **актуальность** разработки адекватных математических моделей электропреобразовательных устройств широкого класса.

Актуальность модельно-ориентированного подхода к проектированию закреплена в соответствующих нормативных документах, включая ряд национальных стандартов (например, ГОСТ 2.103-2013), применяемых в том числе в электронной отрасли. При этом выделяется проблема развития математических методов моделирования микросхем импульсных электронных устройств, активно применяемых в современных импульсных источниках питания и других электропреобразовательных устройствах, содержащих в своем составе микросхемы данного типа. Эти интегральные микросхемы широко распространены, так как, благодаря использованию полупроводниковых ключевых элементов, сформированные на их основе импульсные преобразователи напряжения обладают высокими энергетическими характеристиками и низкими массогабаритными показателями. Однако, на сегодняшний день существует постоянный дефицит моделей микросхем импульсных преобразователей напряжения, обусловленный отсутствием математических методов их синтеза, который существенно ограничивает возможности модельно-ориентированного проектирования устройств силовой электроники. Таким образом, тематика рассматриваемой диссертации, включая разработку оригинальных методов, алгоритмов и программ для моделирования процессов в интегральных микросхемах, несомненно, является **весьма актуальной** и будет способствовать ускоренному внедрению технологий модельно-ориентированного проектирования в широкую практику проектирования электропреобразовательных устройств различного назначения.

Научная новизна. Автором диссертации рассматриваются вопросы математического моделирования процессов в микросхемах импульсных преобразователей напряжения с использованием **оригинального метода и реализованного на его основе алгоритма** интерпретации экспериментальных данных, полученных при тестовых воздействиях на микросхемы импульсных преобразователей напряжения, позволяющих учитывать влияние внешних тепловых и электрических процессов в импульсных устройствах такого рода и формализовать процесс синтеза их динамических математических моделей. Автором **разработан оригинальный программный комплекс** для выполнения вычислительного эксперимента на основе алгоритмов, реализующих разработанные в диссертационной работе математические методы моделирования поведения микросхем импульсных преобразователей напряжения при воздействии внешних тепловых и электрических факторов. Таким образом, предложенные автором в рамках диссертационной работы методы численного моделирования, вычислительные алгоритмы и программный комплекс **обладают очевидными признаками научной новизны.**

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов основана общей непротиворечивости теоретических положений настоящей работы известным теоретическим положениям, на адекватности логической структуры предложенных методов и алгоритмов, а также результатах верификации выдвинутых гипотез и результатов численного эксперимента с использованием математического аппарата и современного прикладного инструментария вычислительной математики, теории имитационного моделирования, теории дифференциальных уравнений, теории автоматического управления, теории идентификации систем, теории планирования эксперимента, теории математической статистики.

Достоверность также подтверждается сопоставлением расчетных результатов, полученных с использованием оригинальной авторской модели, с результатами расчетов с использованием альтернативных моделей, известных по литературным данным. При этом в диссертационной работе и автореферате достаточно корректно сделаны отсылки к авторам и коллективам, результатами работы которых воспользовался диссертант как при получении, так и при верификации результатов собственных исследований.

Наконец, обоснованность и достоверность выводов подтверждается достаточно обширной апробацией результатов исследований в научной и профессиональной среде, в том числе в виде докладов на ведущих международных и всероссийских конференциях и семинарах по профилю исследований. По результатам диссертации опубликовано 15 работ, из них 4 – в периодических изданиях, рекомендованных ВАК РФ, получено 4 свидетельства Роспатента на программные продукты и 1 патент на полезную модель.

Теоретическая и практическая значимость результатов. Теоретическая значимость исследования состоит в решении важной и актуальной научной задачи математического моделирования динамических процессов, характеризующих поведение интегральных микросхем импульсных преобразователей напряжения, с использованием нового метода математического моделирования, имеющей существенное значение для практики разработки и испытаний микросхем импульсных преобразователей напряжения, а также для развития методов модельно-ориентированного проектирования импульсных преобразователей напряжения, использующих в своем составе микросхемы данного класса.

Практическая значимость предложенных в диссертационной работе новых научно-технических и программных решений подтверждена их использованием на предприятиях, в том числе при разработке и испытании опытных серий ряда микросхем импульсных преобразователей напряжения на предприятии «Группа Кремний ЭЛ», г. Брянск, а также при разработке и производстве промышленных преобразователей электрической энергии на основе микросхем данного класса в ООО «Фрекон», г. Томск, что подтверждается соответствующими актами о внедрении результатов диссертации.

Также практическая значимость диссертации подтверждается тем, что полученные результаты были использованы при развитии методов численного моделирования и модельно-ориентированного проектирования для микросхем импульсных преобразователей напряжения в рамках разработки методов структурно-параметрической идентификации и автопостроения поведенческих и мультифизических моделей интегральных схем и созданию на их базе программно-аппаратного измерительного комплекса при выполнении НИР в рамках Проектной части Госзадания Минобрнауки РФ.

Рекомендации по использованию результатов исследований. Результаты диссертации представляют существенный интерес и могут быть использованы на различных предприятиях электро- и радиотехнического профиля при расчете электропреобразовательных устройств широкого спектра применения, а также в рамках прикладных НИР, предусматривающих в том числе выполнение моделирование устройств и систем такого класса. Среди таких предприятий можно отметить, в частности, ЦНИИ «Электроприбор», АО НПП «РАДАР ММС», АО «НИИ «Вектор», АО «Заслон», ООО «Концерн «Океанприбор», АО «Концерн «Гранит-Электрон», АО «Светлана», АО «Авангард», АО «Интелтех», ОАО «РИМР», ОАО «МАРТ» (г. Санкт-Петербург) и ряд других.

Результаты исследования, по нашему мнению, также могут найти расширенное применение, в том числе при математическом моделировании различных нелинейных динамических систем, принцип работы которых включает в себя импульсный характер; при экспериментальном определении характеристик поведенческих моделей нелинейных динамических систем; при проектировании электронной импульсной преобразовательной техники; при организации тестирования электронных компонентов; при исследовании влияния условий эксплуатации на характеристики интегральных микросхем; при экспериментальном определении характеристик поведенческих моделей электронных изделий, а также при оценке условий электромагнитной совместимости импульсных преобразователей. Представляется целесообразным также использование в учебном процессе при изучении дисциплин электротехнического профиля, а также дисциплин, связанных с общими вопросами математического моделирования и его приложений.

Отмеченные недостатки. Тем не менее, некоторые аспекты исследования не полностью раскрыты в диссертационной работе, а именно:

1. В диссертации недостаточно подробно освещены типичные ограничения, возникающие при практическом применении рассматриваемого класса моделей. В частности, ряд используемых в работе допущений ограничивает спектр рассматриваемых динамических систем только системами со статическими нелинейностями. В этих условиях хотелось бы конкретизировать, насколько указанное допущение выполняется при исследовании характеристик реальных импульсных электропреобразовательных устройств?

2. При переходе от обобщенной математической модели, отражающей поведенческие характеристики микросхем импульсных преобразователей напряжения, рассмотренной в разделе 2.3, к конкретной реализации модели, приведенной на рис. 2.12 (стр. 76), недостаточно подробно рассмотрены произведенные упрощения, а также принятые при этом допущения, позволившие перейти к схеме с безынерционным нелинейным звеном и сосредоточить описание инерционных процессов в рамках линейной части системы.

3. С учетом отмеченных выше ограничений, возникает вопрос, насколько адекватным оказывается моделирование кратковременных перегрузочных режимов работы и связанных с ними переходных процессов в исследуемой системе?

4. В диссертации не отмечено такое важное, на наш взгляд, направление потенциального применения разработанных моделей, как оценка электромагнитной совместимости импульсных преобразователей.

5. При статистической обработке данных используется коэффициент корреляции Пирсона. Однако, при этом нет указаний на то, проводилась ли предварительная проверка анализируемых данных на нормальность?

Перечисленные замечания относятся скорее к форме представления результатов диссертационного исследования и не снижают общей научной ценности и в целом высокой оценки проделанной работы, и могут быть учтены в ходе дальнейших исследований по рассматриваемой проблематике.

Закключение. Диссертационная работа Школина Алексея Николаевича «Математическое моделирование процессов в интегральных микросхемах импульсных преобразователей напряжения при внешних тепловых и электрических воздействиях», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, является завершённой научно-квалификационной работой, отличается актуальностью, имеет очевидные признаки научной новизны, характеризуется теоретической и практической ценностью и в целом соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 01.10.2018 № 1168) к кандидатским диссертациям. Диссертантом корректно поставлена

и успешно решена актуальная научно-техническая задача математического моделирования динамических процессов, характеризующих поведение интегральных микросхем импульсных преобразователей напряжения. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации и соответствует ее структуре. Основные положения диссертации в полной мере отражены в публикациях и научных докладах. Автор диссертационной работы Школин Алексей Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Результаты диссертации и отзыв обсуждены и одобрены на экспертном научно-техническом семинаре факультета радиотехники и телекоммуникаций ФГАОУ ВО «СПбГЭТУ «ЛЭТИ», протокол от 24 декабря 2019 года б/н.

Отзыв составили:

Ведущий научный сотрудник кафедры
«Радиоэлектронные средства»

Богачев Михаил Игоревич

Доктор технических наук (05.13.18), доцент

Декан факультета радиотехники
и телекоммуникаций

Малышев Виктор Николаевич

Доктор технических наук, профессор

Адрес: 197376, г. Санкт-Петербург,
ул. Профессора Попова, 5
тел. (812) 346-18-03

email: mibogachev@etu.ru; vm@ieee.org