

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и инновациям
федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Саратовский государственный

технический университет

имени Гагарина Ю.А.»

(СГТУ имени Гагарина Ю.А.)

д.ф.м.н., профессор

Землянухин А.И.

2026 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации о научно-практической ценности диссертации
Нго Дык Туан на тему «**Цифровое моделирование электромагнитных
устройств коммутации систем управления в энергетике**»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы
(технические науки)

1. Общие положения

Диссертационная работа Нго Дык Туан выполнена на кафедре
«Электротехника» в федеральном государственном бюджетном
образовательном учреждении высшего образования «Волгоградский
государственный технический университет».

На рассмотрение заседания кафедры «Электроэнергетика и
электротехника» федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический
университет имени Гагарина Ю.А.» были представлены следующие материалы:

- диссертация, состоящая из введения, четырех глав, заключения, списка
используемых источников и четырех приложений. Диссертационная работа
изложена на 146 страницах основного текста, содержит 65 рисунков, 12 таблиц,
99 формул и 139 библиографических наименований.

- автореферат диссертации, в котором дана общая характеристика работы и
приведены основные результаты работы.

2. Актуальность темы диссертационного исследования

В электротехнике и электроэнергетике эффективное функционирование систем релейной защиты и автоматики электроснабжения и других систем автоматического управления обеспечивается применением высоконадежных технических средств, в частности автоматических коммутационных элементов. К таким элементам относятся электромагнитные устройства, которые являются одним из самых распространенных типов устройств коммутации систем управления цифровой энергетикой, а также управления оборудованием. Эти электромагнитные устройства обладают идеальными характеристиками, отсутствующими у полупроводниковых конкурентов, например, контактные сопротивления в замкнутых состояниях равны нулю, а в разомкнутых – бесконечности. Однако у них есть и некоторые недостатки, такие как невысокое быстродействие, нелинейность вольт-амперной характеристики и трудность с коррекцией этой характеристикой для повышения быстродействия и переходного процесса.

В последнее время в связи с внедрением интеллектуальных электрических систем (Smart Grid) и цифровизацией электроэнергетики необходима разработка цифровых моделей оборудования и устройств электроэнергетической системы (ЭЭС), которые служат основой для проектирования и выбора цифровых устройств и систем мониторинга, диагностики и управления ЭЭС. Вместе с этим особенно актуально возникает задача цифрового моделирования всех элементов ЭЭС. Решение этой задачи позволит привести модель всех элементов системы к единой цифровой форме. Очевидно, что для эффективного управления коммутационными процессами электромагнитные устройства должны управляться цифровыми системами. Кроме того, быстродействие систем автоматического управления в энергетике зависит от скорости срабатывания коммутационных электромагнитных устройств, которое в свою очередь зависит от переходных процессов, протекающих в обмотке устройств и определяющих его временные параметры. Поэтому анализ динамических процессов в устройствах коммутации электросетей имеет важнейшее значение.

На основании вышеизложенного считаем, что цифровое моделирование коммутационных электромагнитных устройств систем управления цифровой энергетикой с расчетом динамических характеристик для повышения их скорости срабатывания является актуальным как с научной, так и с практической точки зрения.

3. Анализ содержания работы и ее завершенности

В целом содержание и структура диссертационной работы характеризуются логической целостностью и имеют последовательное и обоснованное изложение.

Во введении приведена актуальность темы диссертации, выявлены проблемы, определены цели и задачи исследования, показаны научная новизна, внедрение результатов работы, практическая ценность работы и сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации проведен аналитический обзор существующих устройств коммутации в системах управления защиты и автоматизации электроэнергетики, выявлены проблемы их проектирования и эксплуатации. На этом основании сформулированы задачи исследований.

Во второй главе рассмотрены существующие методы моделирования динамических процессов и их проблемы. Для решения задачи цифрового моделирования непрерывных звеньев систем целесообразно использовать аппарат z -преобразования, а именно метод z -форм и операторно-дискретный метод, которые основаны на приближенной замене связи между операторами p и z первыми членами степенного ряда Тейлора для функции $z = e^{pT}$. Математический аппарат теории z -преобразования включает в себя анализ в области z -изображений и обратный переход к временным функциям посредством теоремы обращения. Важнейшим свойством z -преобразования является способность нахождения оригинала функции способом, не использующим вычисления полюсов функции изображения. Так же сравнительно просто по диаграмме состояния определяется функциональная блок-схема цифровых управляющих устройств.

В третьей главе проведена разработка аналоговой методики и алгоритма моделирования электромагнитных устройств коммутации систем управления в энергетике. Для анализа переходных процессов тока рассмотрено моделирование электромеханических процессов электромагнитного реле постоянного тока. На основе разработанной методики численного моделирования электромагнитных реле при коммутации получены математические модели переходных процессов, и функциональные зависимости величины перемещения якоря реле от тока и значения индуктивности от величины воздушного зазора, а также разработан алгоритм численного моделирования с обратной связью по параметру цепи — индуктивности с величиной воздушного зазора. Для повышения скорости срабатывания электромагнитных реле разработана методика регулирования

характера переходного процесса тока с помощью электрических корректирующих цепей, которые включают в себя последовательное включение в обмотку реле дополнительных элементов R_1 и C . Полученный результат численного моделирования позволяет исследовать динамические характеристики электромагнитных реле с учетом параметров основных элементов реле и среды зазора.

В четвертой главе разработаны цифровая методика и алгоритм анализа переходных процессов в устройствах коммутации систем управления в энергетике. Основой цифрового моделирования является z-преобразование и цифровые модели обычно разрабатываются по аналоговым моделям. На основании этого проведено цифровое моделирование динамических процессов в электромагнитных реле с помощью z-преобразования, которое учитывает влияние величины зазора на индуктивность обмотки и использует сравнительно простой рекурсивный алгоритм вычисления переходной функции. Разработана цифровая модель всех блоков ЭЭС, позволяющая определить форму сигнала на входе релейного устройства, обусловленную искажениями участка ЭЭС от аварии до реле. Так же предложен структурный метод анализа быстродействия цифрового фильтра, позволяющий повышать быстродействие обработки сигнала.

4. Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Диссертационная работа Нго Дык Туан содержит ряд новых научных результатов, имеющих существенное значение для решения задачи цифрового моделирования коммутационных электромагнитных устройств систем управления с повышением их быстродействия в электроэнергетике.

1) Разработаны методика и алгоритм численного анализа переходных процессов тока в цепи электромагнитного реле при коммутации с учетом обратной связи величины воздушного зазора на индуктивность цепи устройства, позволяющие проводить анализ влияния конструктивных факторов на качество переходного процесса.

2) Разработана методика коррекции переходных процессов тока в цепи электромагнитного реле с помощью электрических корректирующих цепей в цепи реле, позволяющая выбирать наиболее оптимальную форму переходного процесса, а также повышать быстродействие реле.

3) Разработаны методика и алгоритм цифрового моделирования динамических характеристик электромагнитных контактных устройств коммутации на основе аппарата z-преобразования с помощью операторных

схем замещения, которые позволяют сравнительно просто без вычислений осуществлять переход от операторных схем к техническим устройствам.

5. Соответствие паспорту специальности

Диссертационная работа Нго Дык Туан «Цифровое моделирование электромагнитных устройств коммутации систем управления в энергетике» соответствует паспорту специальности 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы, а именно: по пункту 1 «Научное обоснование перспективных информационно-измерительных и управляющих систем, систем их контроля, испытаний и метрологического обеспечения, повышения эффективности существующих систем» и пункту 2 «Исследование возможностей и путей совершенствования существующих и создания новых элементов структуры и образцов информационно-измерительных и управляющих систем, улучшение их технических, эксплуатационных, экономических и эргономических характеристик, разработка новых принципов построения и технических решений».

6. Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов

Соискателем разработаны методики и алгоритмы численного анализа динамических процессов в нелинейных устройствах, основанных на использовании операторных схем замещения, которые могут быть использованы для решения подобных задач в других областях техники. Получены функциональные и принципиальные схемы электромагнитных реле с коррекциями характера переходного тока в реле для увеличения их быстродействия. На основании применения аппарата z-преобразования разработана методика цифрового моделирования динамических процессов в нелинейных устройствах с помощью операторных схем замещения, которая может быть использована при внедрении цифровых технологий в энергетике, также разработаны цифровые динамические модели основных элементов ЭЭС, которые описывают все элементы ЭЭС на едином алгоритмическом языке. Разработаны пакеты программ для моделирования динамических характеристик в электромагнитных реле, которые позволяют повысить производительность исследований влияния различных факторов на качество переходных процессов.

7. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Разработанные соискателем компьютерные программы могут быть рекомендованы для проектирования электрических схем, включающих реле,

улучшение его быстродействия. Разработанные методики моделирования позволяет проводить исследования динамических характеристик тока в коммутационных электромагнитных устройствах систем управления цифровой энергетикой при переключениях, а также эффективно использовать в электроэнергетической отрасли для проектирования и исследования выключателей и переключателей, работающих в различных газовых средах.

Полученные соискателем в диссертации оригинальные и ценные научные результаты исследования могут найти широкое применение в цифровых и интеллектуальных электрических системах (Smart Grid).

8. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждается корректным использованием теоретических принципов и математических выкладок, а также подтверждается через результаты компьютерных экспериментов.

Для подтверждения достоверности и обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, представленных в диссертации, используются аналитические выражения, которые были получены с использованием соответствующих математических методов, таких как теоретические основы электротехники, теория автоматического управления, метрология, аппарата z-преобразования, теории погрешностей, цифровое моделирование и методы математического моделирования с проведением компьютерных экспериментов.

Результаты выполненных исследований прошли апробацию на различных научных конференциях. По материалам выполненных исследований опубликовано 12 работ, из которых 5 статей в рецензируемых российских научных журналах по списку ВАК РФ, 1 статья в зарубежных научных изданиях, индексируемых в базах данных Scopus, 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

9. Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Автореферат Нго Дык Туан полностью отражает содержание и основные положения диссертационной работы. В нем изложены цели и задачи исследования, показана актуальность темы, сформулированы научная новизна и практическая значимость результатов, приведены выводы и рекомендации.

Основные результаты, выносимые на защиту, представлены в автореферате корректно и соответствуют содержанию диссертации. Структура

и логика изложения выдержаны, иллюстративный и справочный материал отражает ключевые положения исследования.

Таким образом, автореферат соответствует требованиям и в достаточной мере раскрывает суть проведенного исследования и полученные результаты.

10. Замечания по диссертационной работе

1) Результаты моделирования динамических процессов в воздушных линиях электропередачи в диссертации получены с помощью z-преобразования. В связи с этим возникает вопрос о причинах погрешности цифрового моделирования?

2) Недостаточно обосновано преимущество z-преобразования для цифрового моделирования динамических процессов в электроэнергетике.

3) В тексте диссертации имеются редакционные ошибки.

Отмеченные замечания не снижают научной и практической ценности полученных результатов, а сама диссертация Нго Дык Туан является законченной и оригинальной научно-исследовательской работой.

11. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Диссертационная работа Нго Дык Туан на тему «Цифровое моделирование электромагнитных устройств коммутации систем управления в энергетике» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научной задачи создания моделей коммутационных электромагнитных устройств с учетом их динамических характеристик, и соответствует критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание ученой степени, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (с изменениями). Диссертационная работа Нго Дык Туан на тему «Цифровое моделирование электромагнитных устройств коммутации систем управления в энергетике» соответствует паспорту специальности 2.2.11 «Информационно-измерительные и управляющие системы» и отвечает требованиям пп. 9–11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Автор диссертационной работы Нго Дык Туан заслуживает присвоения
искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.11.
Информационно измерительные и управляющие системы (технические науки).

Диссертационная работа Нго Дык Туан, автореферат и отзыв обсуждены
и одобрены на заседании кафедры «Электроэнергетика и электротехника»
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «СГТУ имени Гагарина Ю.А.» 03 февраля 2026 г.,
протокол № 11, присутствовало на заседании 15 человек. Результаты
голосования: «за» – 15 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет.

Заведующий кафедрой «Электроэнергетика и электротехника»
СГТУ имени Гагарина Ю.А.,
доктор технических наук по специальности 05.09.03

Томашевский Юрий Болеславович

Профессор кафедры «Электроэнергетика и электротехника»
СГТУ имени Гагарина Ю.А.,
доктор технических наук по специальности 05.09.03

Артюхов Иван Иванович

Подписи Томашевского Ю.Б. и Артюхова И.И.

«заверяю»

Ученый секретарь Ученого совета
СГТУ имени Гагарина Ю.А.



А.В. Потапова

Сведения о ведущей организации: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Саратовский
государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» (СГТУ
имени Гагарина Ю.А.).

Адрес: 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77

Телефон: +7 (8452) 99-87-58

Адрес электронной почты: inen@sstu.ru

Официальный сайт: <https://www.sstu.ru>

« 08 » ЛИСТОВ	Вх. № 0.10-65-05 « 09 » 02 2026 г. ВолгГТУ
------------------	--

С отзывом ознакомлен

09.02.2026 8