

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



Сборник научных трудов

II Международной научно-практической конференции
«САПР и моделирование в современной электронике»

Брянск, 24 – 25 октября 2018 г.

Часть 2

Брянск
2018



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Брянский государственный технический университет

САПР И МОДЕЛИРОВАНИЕ В СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

**Сборник научных трудов
II Международной
научно-практической конференции
Брянск, 24 – 25 октября 2018 г.**

**Под ред. Л.А. Потапова,
А.Ю. Дракина**

Часть 2

**Брянск
2018**

УДК 621.37/.39:658.011.56

ББК 30.2-5-05

DOI: 10.30987/collection_5c19e697426bb4.36901569

САПР и моделирование в современной электронике [Текст] + [Электронный ресурс]: сб. науч. тр. II Международной научно-практической конференции / под ред. Л.А. Потапова, А.Ю. Дракина. – Брянск: БГТУ, 2018. – Ч.2. – 190 с.

ISBN 978-5-907111-40-0

ISBN 978-5-907111-42-4

Приведены научные статьи участников II Международной научно-практической конференции «САПР и моделирование в современной электронике», отражающие результаты исследований в области применения моделирования и САПР в электронике, физике, радиотехнике, научных исследованиях и учебном процессе.

Сборник научных трудов предназначен для инженерно-технических работников промышленных предприятий, а также может быть полезен для аспирантов и студентов.

Конференция проведена в рамках выполнения работ по заданию Министерства образования и науки Российской Федерации № 8.1729.2017/ПЧ.

Редактор Т.И. Королева
Компьютерный набор О.А. Топчий

Темплан 2018 г., п.57

Подписано в печать 07.12.18. Формат 60 x 84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 14,63. Уч.-изд. я. 14,63. Тираж 110 экз.

Издательство Брянского государственного технического университета.

Брянск, бульвар им. 50 лет Октября, д. 7. Телефон 58-82-49.

Типография ООО «Графика», переулок Осоеваихима, д. 14, оф. 1.

ISBN 978-5-907111-40-0

ISBN 978-5-907111-42-4

© Брянский государственный
технический университет, 2018

СЕКЦИЯ «МУЛЬТИФИЗИЧЕСКОЕ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ, ПОВЕДЕНЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ»

УДК 629.45

DOI: 10.30987/conferencearticle_5c19e697783e77.32032343

Д.Я Антипин, А.М. Высоцкий, Е.В. Колчина*

(г. Брянск, Брянский государственный технический университет,
г. Екатеринбург, Уральский государственный университет путей сообщения*)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА РАМЫ УНИВЕРСАЛЬНОГО ВАГОНА-ПЛАТФОРМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ САПР

Спрогнозирован ресурс несущей конструкции универсального вагона-платформы с использованием современных средств САПР. Прогнозирование выполнено с учетом динамической нагруженности вагона в эксплуатации.

With the use of modern CAD tools, the resource of the supporting structure of a universal platform car has been predicted. Prediction is made taking into account the dynamic loading of the car in operation.

Ключевые слова: вагон-платформа, ресурс, динамическая нагруженность, элементы САПР.

Keywords: platform car, resource, dynamic loading, CAD elements.

Интенсивный рост объема грузоперевозок по сети железных дорог Российской Федерации предъявляет особые требования к новому подвижному составу. Одно из требований – обеспечение высокого уровня универсальности, что является важным фактором с точки зрения стоимости жизненного цикла. Одним из аспектов, обеспечивающих снижение стоимости жизненного цикла, является уменьшение доли порожнего пробега в его общем объеме. Снижение может быть достигнуто путем обеспечения высокой универсальности подвижного состава. При этом при повышении универсальности вагона снижаются его технико-экономические показатели. Это связано с необходимостью размещения на вагоне значительного объема специального оборудования, обеспечивающего размещение и крепление груза. Сравнительный анализ существующих конструкций универсального грузового подвижного состава и их специализированных аналогов показал неоспоримое преимущество специализированного подвижного состава по сравнению с универсальным при перевозке конкретных типов груза.

Для решения подобной задачи предложена методика, предусматривающая создание универсальной платформы, максимально адаптированной для установки специального оборудования, предназначенного для перевозки конкретного типа груза. В рамках предлагаемой методики на вагон

устанавливается комплект съемного специального оборудования, соответствующего типу перевозимого груза. Конструкция вагона обеспечивает минимальную трудоемкость переоборудования вагона под конкретный тип груза. После оборудования характеристики вагона не уступают специализированным аналогам. При необходимости смены типа перевозимых грузов конструкция вагона, спроектированного в рамках предлагаемой методики, позволяет оперативно переоборудовать вагон под требуемый тип груза.

Проведенные исследования существующих конструкций показали, что наиболее универсальной базой для создания подобного подвижного состава является вагон-платформа для перевозки контейнеров.

В работе предложена конструкция универсального вагона-платформы приспособления для транспортировки колёсного и гусеничного транспорта, крупногабаритных грузов, контейнеров, стального проката, штучных, лесных и других грузов.

В основу созданной несущей системы вагона-платформы положена рама вагона модели 13-1281, представляющая собой пространственную сварную конструкцию переменного сечения с закреплённым на ней металлическим настилом пола.

Динамические нагрузки, воздействующие на конструкцию рамы вагона-платформы, определены на основе разработанных четырех вариантов твердотельной динамической модели с использованием программы «Универсальный механизм» [1,2]. В варианте загрузки вагона-платформы крупнотоннажными контейнерами они моделировались абсолютно твердыми телами и соединялись с моделью рамы посредством силовых контактных элементов, описывающих взаимодействие через фитинговые опоры (рис. 1) [3].

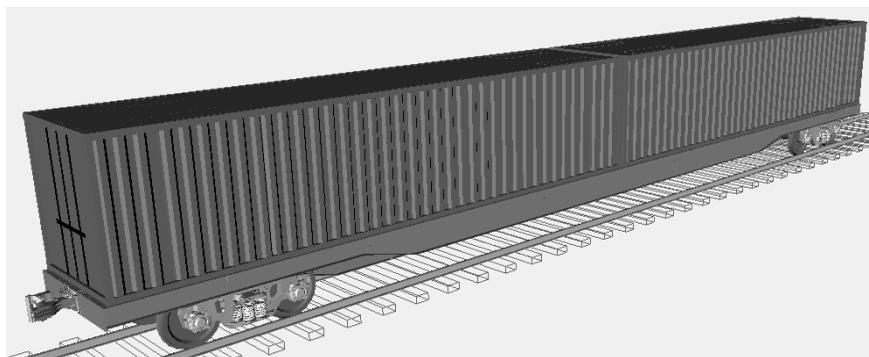


Рис.1. Твердотельная динамическая модель вагона-платформы

В варианте модели, перевозящей автопоезд, он представляется совокупностью двух абсолютно твердых тел, описывающих тягач и полуприцеп. Опираение полуприцепа на тягач через седельное устройство описывается шарнирным элементом. Взаимодействие автопоезда с рамой

вагона через пневмоколеса описывается специальными частотно зависимыми нелинейными упругими элементами [4].

Вариант модели вагона-платформы, перевозящего лес в хлыстах и трубы большого диаметра, предусматривает описание длинномерного груза совокупностью абсолютно твердых тел с описанием контактного взаимодействия единиц груза между собой и кузовом вагона специальными контактными элементами.

Расчет прочности несущей конструкции от нагрузок, полученных при твердотельном моделировании, а также специфических нагрузок, связанных с перевозкой конкретных типов груза, определяемых с учетом «Правил перевозок железнодорожным транспортом грузов в открытом подвижном составе» производился в программном комплексе Femap 10.3 в динамической постановке. Для этого были разработаны детализированные пластинчатые конечноэлементные модели вагона-платформы (рис. 2.).

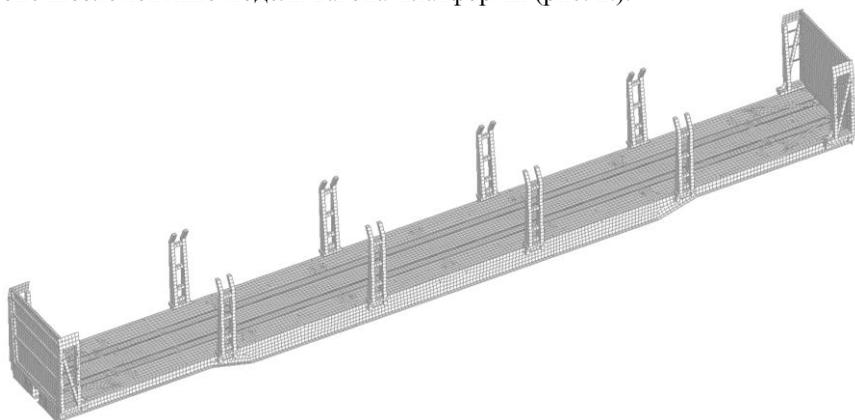


Рис.2. Пластинчатая конечноэлементная модель вагона-платформы

Достоверность полученных результатов подтверждена их сопоставлением с результатами аналитического расчета вагона-платформы как балки на двух опорах. Сравнение результатов показывает, что их различие не превышает 23%, что подтверждает их достоверность.

На основании разработанной модели были проведены многовариантные расчеты, позволившие обосновать выбор параметров несущей конструкции рамы вагона-платформы, обеспечивающей минимальный уровень действующих напряжений для всех рассматриваемых вариантов загрузки при минимальной массе тары.

Анализ усталостной долговечности рамы вагона-платформы на основе данных о ее динамической нагруженности в эксплуатации проводился на основе скорректированных зависимостей, рекомендуемых «Нормами».

Усталостная долговечность оценивалась по трем наиболее нагруженным сварным узлам [5]: узлу крепления лесных и трубных стоек к раме, узлу приварки шкворневой балки к хребтовой и узлу изменения высоты хребтовой балки от меньшей к большей.

Расчеты показали, что наименьший срок службы в годах получен для узла приварки шкворневой балки к хребтовой. При этом наименьший расчётный срок службы сварного узла превышает его величины до первого дефовского ремонта, что подтверждает работоспособность разработанной конструкции.

Список литературы

1. *Антипин, Д.Я.* Использование промышленных программных комплексов для исследования динамической нагруженности конструкций рельсового транспорта/ П.И. Шалупина, Д.Я. Антипин // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: Сборник научных трудов 5-й Международной научно-практической конференции. – Курск, 2015. – С. 342-345.
2. *Мотьянко, Т.А.* Исследование динамической нагруженности верхней рамы кузова вагона-самосвала (думпкара)/ Т.А. Мотьянко, Д.Я. Антипин, М.В. Мануева// Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014. – № 4 (44). – С. 20-23.
3. *Антипин, Д.Я.* Влияние особенностей эксплуатации контрейлерных вагонов-платформ на усталостную долговечность их несущих конструкций/ Д.Я. Антипин, М.В. Мануева, А.Д. Ионкина// Современные инновации в науке и технике. сборник научных трудов 7-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Курск, 2017. – С. 19-21.
4. *Кобищанов, В.В.* Оценка влияния учета упругих свойств подвешивания автопоезда на динамические характеристики вагона-платформы для контрейлерных перевозок/ В.В. Кобищанов, Д.Я. Антипин, М.В. Мануева// Вестник Брянского государственного технического университета. – 2016. – № 4 (52). – С. 179-185.
5. *Антипин, Д.Я.* Исследование влияния параметров сварных соединений подвижного состава на их усталостную долговечность/ Д.Я. Антипин, В.В. Кобищанов, А.М. Высоцкий// Повышение эффективности транспортных машин. – Брянск, 2017. – С. 183-190.

Материал поступил в редколлегию 11.10.18.

УДК 629.45

DOI: 10.30987/conferencearticle_5c19e697ac9566.77146180

О.И. Бондаренко, Д.Я. Антипин

(г. Брянск, Брянский государственный технический университет)

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПАССАЖИРСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ АВАРИЙНОМ ОПРОКИДЫВАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ САПР

Предложена методика оценки безопасности пассажирского подвижного состава при аварийных опрокидываниях с использованием современных элементов САПР.

The proposed methodology for assessing the safety of passenger rolling stock in accidental overturning using modern CAD elements.

Ключевые слова: системы автоматизированного проектирования, безопасность, пассажирский вагон, аварийная ситуация.

Keywords: computer-aided design systems, safety, passenger carriage, emergency.

В настоящее время проектирование современного подвижного состава базируется на применении современных систем САПР [1]. Одним из элементов САПР являются программные комплексы анализа нагруженного состояния несущих систем транспортных машин в эксплуатации. Традиционно в комплекс анализируемых параметров в соответствии с нормативной документацией включались нормируемые показатели, соответствующие штатной эксплуатации транспортных машин [2]. При этом в последние годы нормативная документация на проектирование пассажирского подвижного состава стала включать требования по наличию и эффективности систем пассивной безопасности [3]. Указанные системы предназначены для снижения последствий аварийных ситуаций, связанных с крушением поездов. В связи с этим актуальной становится задача теоретической оценки безопасности пассажирского подвижного состава в аварийных ситуациях на стадии проектирования.

Анализ мирового опыта решения подобных задач показывает, что основным инструментом являются методы математического моделирования сценариев аварийных ситуаций с использованием аналитических подсистем САПР. К указанным программным продуктам можно отнести программы инженерного анализа, обеспечивающие моделирование высоконелинейных быстротекущих процессов деформирования несущих систем, такие, как ANSYS, LS-DYNA, SIEMENS NX, ABAQUS и др. Использование специализированных продуктов, интегрированных в общую систему САПР, позволяет на стадии проектирования прогнозировать поведение конструкций в аварийных ситуациях, оценивать эффективность предлагаемых конструктивных решений. При недостаточной их эффективности существует возможность скорректировать их на стадии проектирования и тем самым избежать значительных материальных затрат на стадии изготовления и испытания конструкции [4].

Для решения описанной задачи в работе предложена интегрированная в классическую САПР вагоностроительных предприятий итерационная методика анализа эффективности систем пассивной безопасности пассажирского подвижного состава при авариях, связанных с опрокидыванием вагона на боковую стену. На рис.1. представлена блок-схема предлагаемой методики.

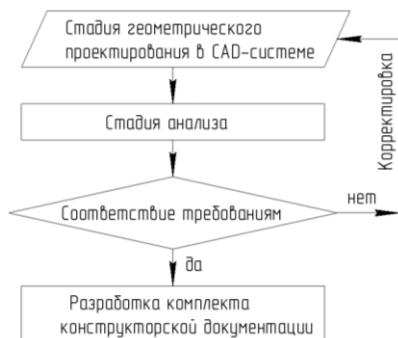


Рис.1. Блок-схема итерационного процесса проектирования в САПР

Предлагаемая методика имеет двухуровневую структуру. На первом уровне на основании разработанных в основной системе САПР детализированных трехмерных моделей подвижного состава формируются проблемно-ориентированные упруго-пластические конечноэлементные модели подвижного состава и препятствий. На втором этапе производится симуляция сценария аварийной ситуации с использованием высокопроизводительных алгоритмов описания высокоскоростного нелинейного деформирования несущих систем с учетом возможности нарушения целостности ряда элементов. По результатам исследований проверяется соответствие функциональных параметров подвижного состава нормативным требованиям и принимается решение о корректировке объекта проектирования или переходе к стадии разработки комплекта конструкторской документации.

Апробация методик проведена на примере пассажирского вагона купейного типа модели 61-4440 производства ОАО «Тверской вагоностроительный завод».

Модель аварийного опрокидывания вагона фиксирует деформацию и учитывает взаимодействие элементов и подсистем вагона, возникающих во время удара. Геометрическая модель пассажирского вагона в точности повторяет линейные размеры элементов и подсистем вагона. Степень дискретизации конечноэлементной сетки обеспечивает вычислительную конвергенцию и приемлемое время решения задачи. Разработанная модель вагона состоит из 85,4 тысяч элементов и 99,9 тысяч узлов (рис.2).

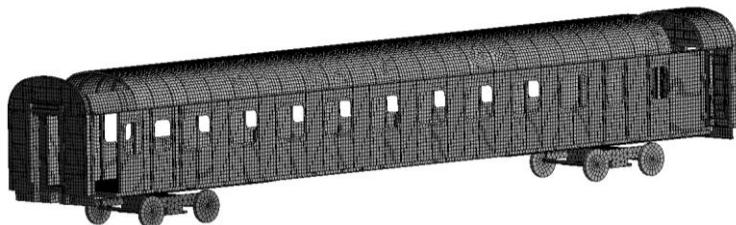


Рис. 2. Конечноэлементная модель пассажирского вагона

Препятствие в виде земляного полотна в расчетной модели представлено жесткой плоскостью с соответствующими ограничениями по степеням

свободы. Всем частям кузова вагона были сообщены соответствующие сценарию аварийной ситуации угловые и поступательные скорости. С использованием специализированных элементов в модели описаны контактные взаимодействия вагона с земляным полотном, а также контакты между элементами конструкции вагона. Статический и динамический коэффициент трения в расчете задавался с учетом жесткой природы грунта, используемого в испытании на опрокидывание.

В результате моделирования получена картина пластического деформирования несущей конструкции кузова вагона во времени. Определены пиковые усилия, действующие на конструкцию в аварийной ситуации, уровни максимальных напряжений и деформаций элементов кузова. Определены элементы кузова, разрушающиеся при опрокидывании, а также элементы, входящие при пластическом деформировании в зону безопасности пассажирского салона и тем самым создающие условия для травмирования пассажиров.

Сопоставление полученных результатов с требованиями нормативной документации к системам пассивной безопасности пассажирского подвижного состава позволило сформировать перечень конструктивных элементов несущей конструкции кузова, требующих доработки. На основании полученных результатов предложен комплекс мер, направленных на повышение пассивной безопасности несущей конструкции кузова пассажирского вагона модели 61-4440.

Список литературы

1. *Полушко, О.И.* Анализ ударопрочных конструкций подвижного состава и их применение на железнодорожном транспорте / О.И. Полушко // Новые горизонты: материалы IV Международной конференции-конкурса. – Брянск, 2017. – С. 82-84.
2. *Антипин, Д.Я.* Обоснование динамических моделей для анализа нагруженности несущих конструкций кузовов пассажирских вагонов / Д.Я. Антипин, С.Н. Ашуркова, Е.В. Чепикова // Будущее машиностроения России девятая всероссийская конференция молодых ученых и специалистов. – 2016. – С. 695-697.
3. United Nations, Uniform Technical Prescriptions Concerning The Approval of Large Passenger Vehicles with regard to The Strength of Their Passenger Vehicles with regard to The Strength of Their Superstructure (Revision 1), Regulation No 66 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE), 2006.
4. *Шорохов, С.Г.* Обоснование компьютерной модели соударения пассажирского поезда с препятствием / С.Г. Шорохов, Н.А. Редя, Д.Я. Антипин // Приоритетные направления развития науки, техники и технологий международная научнопрактическая конференция. – 2016. – С. 321-324.

Материал поступил в редколлегию 11.10.18.

С.Н. Ашуркова, Д.Я. Антипин
(г. Брянск, Брянский государственный технический университет)

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ САПР ДЛЯ АНАЛИЗА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КУЗОВОВ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

Разработаны и обоснованы параметры пластинчатых конечно-элементных расчетных моделей кузова пассажирского вагона с использованием современных средств САПР. Проведена оценка напряженно-деформированного состояния кузова пассажирского вагона с перфорированными профилями.

The development and substantiation of the parameters of the plate finite-element design models of the passenger car with the use of modern CAD tools. An assessment of the stress-strain state of the body of a passenger car with perforated profiles was carried out.

Ключевые слова: пассажирский вагон, математическое моделирование, метод конечных элементов, прочность, кузов, перфорированный профиль.

Keywords: passenger car, mathematical modeling, finite element method, strength, body, perforated profile.

В настоящее время при внедрении на промышленных предприятиях транспортной отрасли PLM технологий все большее внимание уделяется CAE-сегменту, что связано с необходимостью сокращения временных и материальных затрат на проектирование. Наличие на предприятии надежных методик прогнозирования поведения конструкции на всех стадиях его жизненного цикла позволяет повысить его конкурентоспособность и значительно сократить затраты предприятия на сопровождение изделия в эксплуатации. При этом значительное внимание уделяется интегрированности CAE- и CAD-сегментов.

При проектировании несущих конструкций подвижного состава одним из параметров, определяющих безопасность и надежность конструкции, является обеспечение прочности несущих элементов в условиях действия всего спектра эксплуатационных нагрузок.

Анализ мировой практики проектировании несущих конструкций показал, что основным универсальным численным методом оценки прочности несущих конструкций является метод конечных элементов, реализуемый различными пакетами САПР. Современные программные комплексы позволяют на основе разработанных детализированных геометрических моделей конструкции без значительных трудозатрат

пользователя автоматически генерировать конечноэлементные расчетные схемы.

В связи с этим исследование напряженно-деформированного состояния конструкции кузова пассажирского вагона выполнено методом конечных элементов, реализованным средствами модуля инженерных расчетов NX Nastran программного комплекса Siemens PLM Software Femap [1,2].

Кузов пассажирского вагона представляет собой тонкостенную подкрепленную оболочку с вырезами, в связи с чем моделирование кузова пассажирского вагона рационально с использованием пластинчатых или пластинчато-стержневых расчетных моделей. В пластинчато-стержневой модели кузова вагона стойки и дуги формируются двухузловыми стержневыми элементами, воспринимающими усилия растяжения, изгиба и кручения, а обшивка кузова – трех- или четырехузловыми пластинчатыми конечными элементами, воспринимающими весь спектр внутренних усилий. Пластинчатая конечноэлементная модель формируется только из пластинчатых элементов, располагаемых по срединной плоскости сечения элемента. Преимуществом пластинчатых моделей является возможность локального исследования напряженно-деформированного состояния кузова вагона в зонах соединения конструктивных элементов между собой и возможность рационально учитывать нагружение и закрепление конструкции [3,4,5].

В работе исследование проведено на примере кузова пассажирского вагона модели 61-4447. Обшивка панелей боковых стен вагона изготовлена комбинированной с частичным применением двухслойной обшивки. В работе комбинированная обшивка панелей боковой стены заменена на гладкую, подкрепленную стрингерами, что обусловлено тенденциями развития современного пассажирского вагоностроения. С целью облегчения конструкции использованы гнутые зетобразные перфорированные профили размером $65 \times 45 \times 40 \times 2,5$ мм. Геометрия отверстий перфорации и оценка ее влияния на общую картину напряженно-деформированного состояния кузова пассажирского вагона реализованы посредством пластинчатой расчетной модели.

Анализ научных исследований в области создания конечноэлементных схем показал, что адекватность результатов расчета пластинчатой конечноэлементной модели зависит от степени ее дискретизации и топологии элементов. В связи с чем минимальный размер конечного элемента принят в соответствии с размерами балок подкрепляющего набора кузова и в среднем значении равен 60 мм. Пластинчатая конечноэлементная модель кузова разработанного пассажирского вагона представлена на рис. 1.

Геометрические размеры перфорации балок подкрепляющего набора кузова представлены на рис.2. Применение автоматической генерации конечноэлементной сетки средствами программного комплекса приводит к

сгущению сетки в местах изменения геометрии балки с нерациональными размерами конечных элементов и вырождению отверстий перфорации.

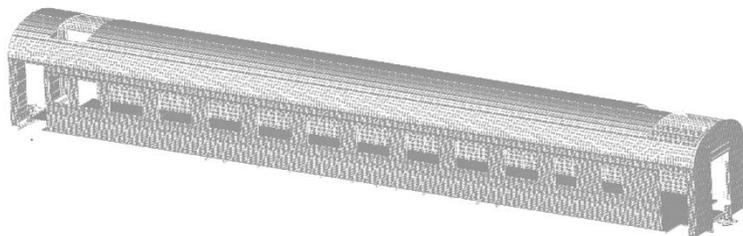


Рис. 1. Пластинчатая конечноэлементная модель кузова пассажирского вагона

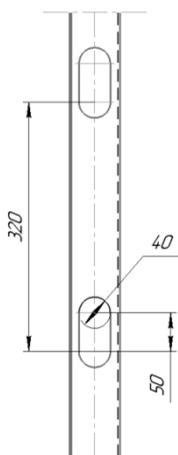


Рис. 2. Геометрические размеры перфорации балок



Рис. 3. Элемент перфорированной стойки конечно-элементной модели

В связи с этим, в работе предложено ручное разбиение конечноэлементной сетки с ее сгущением у отверстия перфорации с применением преимущественно равнобедренных треугольных и прямоугольных конечных элементов (рис. 3).

Закрепление и нагружение конечноэлементной модели в пространстве выполнено в соответствии с требованиями норм проектирования вагонов.

Достоверность полученных с использованием разработанной конечноэлементной модели результатов обоснована удовлетворительной сходимостью

расчетных данных с данными натурных стендовых испытаний несущей конструкции кузова пассажирского вагона модели 61-4447, проведенных ЗАО НО «Гверской институт вагоностроения».

Напряженно-деформированное состояние кузова разработанного вагона оценивалось по значениям нормальных напряжений в срединном сечении кузова в отношении к значениям напряжений в конструкции вагона-аналога в том же сечении и представлено в таблице.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что максимальное различие результатов прочностных расчетов зафиксировано в несущих конструкциях панелей боковых стен и не превышает 26,2%.

Наибольшие напряжения для несущей конструкции с перфорированными профилями не достигают допустимых значений, при этом масса кузова вагона не превышает массу вагона-аналога. Путем варьирования межцентровых расстояний, формы и шага отверстий перфорации возможно снизить действующие напряжения в несущей конструкции боковой стены и крыши кузова рассматриваемого вагона.

Таблица. Сопоставление результатов расчета разработанной модели кузова с результатами расчета вагона-аналога

№ п/п	Элемент несущей конструкции	Сжимающая нагрузка 2,5 МН, %	Растягивающая нагрузка 1,5 МН, %
1	Рама	15,1	7,3
2	Стена боковая	26,2	13,4
3	Стена торцевая	12,7	6,9
4	Крыша	23,9	11,1

В связи с этим перфорированные профили могут быть рекомендованы для использования в несущей конструкции кузова пассажирского подвижного состава нового поколения.

Список литературы

1. *Ашуркова, С.Н.* Исследование влияния конструкции подкрепляющего набора боковой стены пассажирского вагона на его технико-экономические показатели/ С.Н. Ашуркова, А.М. Высоцкий, Д.Я. Антипин// Молодые ученые - ускорению научно-технического прогресса в XXI веке: сборник материалов III Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием. – Ижевск, 2015. – С. 849-852.

2. *Ашуркова, С.Н.* Использование современных промышленных программных комплексов для обоснования рациональной конструкции боковых стен пассажирских вагонов/ С.Н. Ашуркова, Д.Я. Антипин// Сборник материалов Всерос., научно-практической конференции «Информационно-телекоммуникационные системы и технологии» [Электронный ресурс]. – Кемерово, 2015.

3. *Высоцкий, А.М.* Выбор рациональной конструкции двухслойной обшивки боковых стен пассажирских вагонов/ А.М. Высоцкий, В.В. Кобищанов, Д.Я. Антипин, Д.Ю. Расин// Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014. – № 4 (44). – С. 8-11.

4. *Кобищанов, В.В.* Оценка нагруженности кузовов пассажирских вагонов при столкновении поездов с препятствиями методами компьютерного моделирования/ В.В. Кобищанов, Д.Я. Антипин, С.Г. Шорохов// Безопасность движения поездов: труды XV научно-практической конференции. – М., 2014. – С. VII-42.

5. *Высоцкий, А.М.* Обоснование методики моделирования двухслойной обшивки боковых стен кузовов пассажирских вагонов при анализе их нагруженности/ А.М. Высоцкий, В.В. Кобищанов, Д.Я. Антипин// Вестник Брянского государственного технического университета, 2013. – № 3 (39). – С. 10-13.

Материал поступил в редколлегию 11.10.18.

О.Л. Ахремчик, И.И. Базулев
(г. Тверь, Тверской государственный технический университет)

ВЫДЕЛЕНИЕ СИТУАЦИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ СИГНАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ТЕРМОИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Выделяются классы ситуаций, характеризующих процесс термоиспытаний электронной техники. Классы рассматриваются как составляющие продукционных правил базы знаний для синтеза акустических сигналов об отклонениях выделенных параметров от нормы.

Situation classes are underlined to characterize process of electronic device thermo test. Classes are considered as parts of production rules of knowledge base to synthesis of acoustic signals about deviations of dedicated parameters from the norm.

Ключевые слова: класс, параметр, термоиспытание.

Keywords: class, parameter, thermo test.

В ходе производства изделий электронной техники на разных циклах производится диагностирование качества как комплектующих, так и самого электронного изделия. Диагностирование выполняется в автоматизированном режиме и характеризуется повышенной интенсивностью зрительной нагрузки на операторов участков технологической линии. Задачей исследований является снижение данной нагрузки. В качестве испытательного полигона выбран завершающий участок производства – участок термоиспытаний готовых изделий.

Процесс термоиспытаний является многопараметрическим со сложной взаимосвязью параметров, характеризующих качество готовых изделий. Изменения параметров электронной техники могут определяться на основе анализа протекания переходных процессов, связанных с разогревом прибора проходящим через него током. В этом случае возникает необходимость перехода от совокупности показателей качества к комплексным критериям (например, к разности спектров теплового сопротивления до и после термоиспытаний).

Выбор значений параметров звуковых сигналов должен определяться требованиями к системам аварийно-предупредительной сигнализации технологических объектов с учетом звукового давления, а также частоты и длительности воспроизведения сигнала в случаях отдельно аварийной и предупредительной сигнализаций [1]. При проектировании системы сигнализации выбор сигнала производится автоматически в базе знаний САПР на основе продукционных правил вида

$$i = \langle S; L; A \rightarrow B; Q; Z \rangle,$$

где S – описание класса ситуаций отклонений параметров техники и оборудования для ее производства от регламентируемых технологией; L – условие, при котором продукция активизируется; $A \rightarrow B$ – ядро, в котором A и B являются посылкой и следствием соответственно; Q – постусловие; Z – уровень приоритета последовательности действий.

Первым шагом построения базы знаний САПР является выделение ситуаций, определяющих классы отклонений параметров электронной техники. Основными ситуациями являются выход параметров электронных изделий за допустимые технические условия в нормальных климатических условиях; выход параметров электронных изделий за допустимые технические условия при крайних значениях температур; выход параметров электронных изделий, не регламентируемых техническими условиями, но позволяющих выявлять отказы.

Исходя из анализа процесса термоиспытаний дополнительно можно выделить классы ситуаций, характеризующих состояния как электронной техники, так и термоиспытательного оборудования:

$$S = \{S_1; S_2; S_3; \dots; S_9\},$$

где S_1 – состояние нормального функционирования выпускаемых изделий электронной техники; S_2 – отклонение параметров изделий от нормы при сохранении работоспособности в контексте ситуаций, определенных выше; S_3 – состояние отказа электронных изделий; S_4 – состояние термоиспытательного оборудования в норме; S_5 – отклонение режимов работы термоиспытательного оборудования от нормы; S_6 – отказ термоиспытательного оборудования; S_7 – параметры входных воздействий для испытываемых изделий в норме; S_8 – отклонения от нормы испытательных воздействий; S_9 – недопустимые значения испытательных воздействий.

Параметрами электронной техники, позволяющими диагностировать неисправности, являются основные и дополнительные погрешности измерения напряжения, тока, сопротивления, частоты следования импульсов на входах электронного прибора; временная нестабильность источника опорного напряжения; зависимость погрешности измерения от уровня входного напряжения; ток утечки закрытых выходных ключей; значения напряжений логического нуля и логической единицы на входах и выходах компонентов (прибора); токи утечки дискретных выходов и потенциальных входов.

Список литературы

1. *Ахремчик, О.Л.* Характеристики аварийных и предупредительных звуковых сигналов при управлении технологическими процессами / О.Л. Ахремчик, И.И. Базулев // Вестник Тверского государственного технического университета. – 2017. – №1 (33). – С.15–17.

Материал поступил в редколлегию 12.10.18.

В.В. Воронин

(г. Хабаровск, Тихоокеанский государственный университет)

ПРИНЦИП ДОМИНИРОВАНИЯ В ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ

Сформулирован принцип доминирования – знания о множестве возможных дефектов объекта диагностирования есть отправная точка для решения всех диагностических задач.

The principle of domination is formulated - knowledge of the set of possible defects of the diagnostic object is the starting point for solving all diagnostic problems.

Ключевые слова: объект диагностирования, множество возможных дефектов, системные представления, концептуальная модель.

Keywords: the object of diagnosis, the set of possible defects, systemic representations, the conceptual model.

В подавляющем большинстве известных методов поиска дефектов в качестве основной части исходных данных используется "множество заданных дефектов", элементы которого подлежат идентификации [1-2]. Кроме того, во всех этих методах понятие дефекта является абстрактной сущностью - "модель дефекта" [3]. Для того чтобы данные методы имели практическую значимость, необходимо определить соответствие между модельными и реальными физическими дефектами. Практических примеров такого соответствия нет [4].

В то же время, несмотря на рост сложности технических систем, практика поиска реальных физических дефектов остается достаточно успешной. Основу такого успеха составляют знания индивидуальных особенностей объекта диагностирования и условий его эксплуатации.

В такой ситуации логично предположить, что отправной точкой и в теоретической диагностике должно стать не множество заданных модельных дефектов, а множество реально возможных дефектов. Если принять такую гипотезу, то появляется ряд направлений исследований, а именно: описание элементов множества возможных дефектов, исследование отношений на множестве возможных дефектов, распределение элементов этого множества по структурным представлениям объекта диагностирования, анализ соответствия системы технического обслуживания данному объекту диагностирования и условиям его эксплуатации.

Принцип доминирования можно сформулировать следующим образом - множество возможных дефектов и его особенности являются главным основанием для синтеза структурных представлений об объекте диагностирования и для назначения множества возможных диагностических проверок.

Как следствие, предлагается в области технической диагностики выделять три базовых вида диагностических знаний, а именно: *знания о возможных дефектах, знания о диагностических экспериментах и знания о структурной организации ОД*. При этом в рамках разработки диагностического обеспечения рекомендуется дополнительно учитывать следующее методологическое положение - в общем случае следует различать пять системных представлений объекта диагностирования (внешнее, иерархическое, функциональное, конструктивное и деградационное) и применять их в заранее определенном порядке.

Целенаправленный учет особенностей множества возможных дефектов и отношений на этом множестве позволит существенно повысить достоверность результатов диагностирования. Использование различных системных представлений объекта диагностирования гарантирует при меньших ресурсных затратах увеличение практической покрываемости множества его возможных дефектов. Своевременная оценка надежностных свойств объекта диагностирования и условий его эксплуатации сокращает расходы на систему его технического обслуживания.

Общий план исследований в данном направлении предполагает:

- 1) формализацию и анализ принципов доминирования, пяти системных представлений и соответствия объекта его системе обслуживания
- 2) формализацию множества возможных дефектов и его диагностических показателей;
- 3) формализацию и анализ отношений на множестве возможных дефектов, а именно: причинно-следственных, отношений эквивалентности, временных отношений;
- 4) формализацию и анализ диагностических цепей в рамках структурных представлений;
- 5) разработку концептуальной диагностической модели;
- 6) проработку вопросов практической реализуемости полученных решений.

Основной интеграционный результат предполагается представить универсальной схемой концептуальной диагностической модели поточных технических систем в фреймовом представлении. Эта схема может быть использована в качестве универсального шаблона для разработки логической структуры базы знаний прототипов диагностических экспертных систем.

Список литературы

1. *Бигус, Г.А.* Диагностика технических устройств / Г.А. Бигус, Ю.Ф. Даниев, Н.А. Быстрова, Д.И. Галкин. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 616 с.
2. *Пархоменко, П.П.* Вопросы и организационные иерархии. / П.П. Пархоменко. //Автоматика и телемеханика. – 2010. – № 6. - С. 163-174.
3. *Жирабок, А.Н.* Диагностические наблюдатели и соотношения паритета: сравнительный анализ. / А.Н. Жирабок. // Автоматика и телемеханика. – 2012, – N 5. – С. 141-160.
4. *Воронин, В.В.* Диагностирование непрерывных динамических систем с использованием параметрических функций чувствительности. / В.В. Воронин, С.В. Шалобанов, С.С. Шалобанов //Научный вестник НГТУ. – 2016. – №2 (63). – С. 23-34.

Материал поступил в редколлегию 24.09.18.

А.А. Викторов, Л.Н. Васильева

(г. Чебоксары, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова)

РАЗРАБОТКА КОНСОЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ НАД КОМПЛЕКСНЫМИ ЧИСЛАМИ

Рассмотрен пример написания консольной программы для выполнения арифметических действий над комплексными числами в алгебраической форме записи на одном из высших языков программирования.

The work deals with writing a console program for performing arithmetic operations on complex numbers in the algebraic form of writing in one of the highest programming languages.

Ключевые слова: алгебра, информатика и информационные технологии в радиоэлектронике, калькулятор, компилятор, комплексные числа, консольное приложение, программирование, C++.

Keywords: algebra, computer science and information technology in electronics, calculator, compiler, complex numbers, console application, programming, C++.

В практической деятельности инженер сталкивается с комплексными числами. При этом приходится пользоваться вычислительными средствами, такими, как всевозможные онлайн – калькуляторы [1] или приложения [2,3], призванные облегчить обработку данных [4,5]. Вместе с тем не каждый задумывался о том, как может быть устроен код вычислительного инструмента. Для того, чтобы разобраться в этом, будет достаточно знаний одного из языков программирования и онлайн – компилятора. В качестве первого был выбран C++ – один из самых популярных языков программирования общего назначения [6]. Для реализации выбран калькулятор с подробным решением сложения, вычитания, умножения и деления комплексных чисел в алгебраической форме записи.

Для создания меню калькулятора были использованы оператор выбора *switch* и оператор условия *if*. Ввод действительной и мнимой части комплексного числа производится с помощью выведения на консоль соответствующей фразы – *Enter real (imaginary) part of first (second) number* [1]. После завершения ввода и нажатия клавиши *Enter* осуществляется вывод на экран результата работы алгоритма. На рис.1 представлен пример работы алгоритма по вычислению суммы двух комплексных чисел в алгебраической форме записи: $z_1 = 1 + 2i$ и $z_2 = -3 + 4i$.

```

|| 1 - Calculate complex numbers (a+ib)
|| 0 - Nothing
||
||-----
|| Please Select:1
||
||-----
|| 1 - Add complex numbers      (+)
|| 2 - Subtract complex numbers (-)
|| 3 - Multiplying complex numbers (*)
|| 4 - Divide complex numbers  (/)
||
||-----
|| Please Select:1
||
||-----
|| Enter real part of first number: 1
|| Enter imaginary part of first number: -2
|| Enter real part of second number: -3
|| Enter imaginary part of second number: 4
||
||-----
|| 1-2i+(-3+4i)=(1-3)+(-2+4)i=-2+2i
||
||-----

```

Рис.1. Пример работы консольного калькулятора при сложении комплексных чисел

На рис.2 представлен пример вычисления калькулятором разности двух комплексных чисел: $z_1 = 12.3 + 34.5i$ и $z_2 = 5.67 + 7.89i$.

```

||-----
|| 12.3+34.5i-(5.67+7.89i)=(12.3-5.67)+(34.5-7.89)i=6.63+26.61i
||
||-----

```

Рис. 2. Пример вычисления разности комплексных чисел

На рис.3 представлен пример вычисления калькулятором произведения двух комплексных чисел: $z_1 = -12 + 3i$ и $z_2 = -45 + 6i$.

```

||-----
|| (-12+3i)*(-45+6i)=12*45-12*6i-45*3i+3*6i^2=540-72i-135i-18=522-207i
||
||-----

```

Рис.3. Пример вычисления произведения комплексных чисел

На рис.4 представлен пример вычисления калькулятором частного двух комплексных чисел: $z_1 = -9 + 8i$ и $z_2 = -7 - 6i$.

```

||-----
|| (-9+8i)/(-7-6i)=[(-9+8i)*(-7+6i)]/[(-7-6i)*(-7+6i)]=
|| =(9*7-9*6i-7*8i+8*6i^2)/(7*7+6*6)=(63-54i-56i-48)/
|| /(49+36)=(15-110i)/85=0.176471-1.29412i
||
||-----

```

Рис.4. Пример вычисления разности комплексных чисел.

В случае потери смысла при делении на 0 будет выведено соответствующее предупреждение (рис. 5).

```

| |-----
| |      (1+2i) / (0+0i) =
| |!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
| |      You can not divide by zero,
| |      select another value of second complex number
| |!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

```

Рис.5. Предупреждение в случае деления на 0

Ниже приведена часть кода, отвечающая за деление комплексных чисел:

```

cout<<real1;
if(complex1>=0){cout<<"+"<<complex1;}else{cout<<complex1;}
cout<<"i)*(";
cout<<real2;
if(conjugate>=0){cout<<"+"<<conjugate;}else{cout<<conjugate;}
cout<<"i)}/(";
cout<<real2;
if(complex2>=0){cout<<"+"<<complex2;}else{cout<<complex2;}
cout<<"i)*(";
cout<<real2;
if(conjugate>=0){cout<<"+"<<conjugate;}else{cout<<conjugate;}
cout<<"i)=\n";//end of part 2
real12=real1*conjugate;//-----//
real22=complex1*conjugate;//-----//
cout<<"\t=";
if(real11>=0&&((real1>0&&real2>0)||(real1<0&&real2<0)||(real1==0&&real2>0)||(real1>0&&real2=
=0)))
{cout<<fabs(real1)<<"*"<<fabs(real2);}
else if((real1>0&&real2<0)||(real1<0&&real2>0)||real1==0||real2==0)
{cout<<"-"<<fabs(real1)<<"*"<<fabs(real2);}
if(real12>=0&&((real1>0&&conjugate>0)||(real1<0&&conjugate<0)||(real1==0&&conjugate>0)||(real1
>0&&conjugate==0)))
{cout<<"+"<<fabs(real1)<<"*"<<fabs(conjugate);}
else if((real1>0&&conjugate<0)||(real1<0&&conjugate>0)||real1==0||conjugate==0)
{cout<<"-"<<fabs(real1)<<"*"<<fabs(conjugate);}
cout<<"i";
if(real21>=0&&((real2>0&&complex1>0)||(real2<0&&complex1<0)||(real2==0&&complex1>0)||(real
2>0&&complex1==0)))
{cout<<"+"<<fabs(real2)<<"*"<<fabs(complex1);}
else
if(real21<=0&&((real2>0&&complex1<0)||(real2<0&&complex1>0)||real2==0||complex1==0))
{cout<<"-"<<fabs(real2)<<"*"<<fabs(complex1);}
cout<<"i";
if(real22>=0&&((complex1>0&&conjugate>0)||(complex1<0&&conjugate<0)||(complex1>0&&conjug
ate==0)||(complex1==0&&conjugate>0)))
{cout<<"+"<<fabs(complex1)<<"*"<<fabs(conjugate);}
else
if((real22<=0&&((complex1>0&&conjugate<0)||(complex1<0&&conjugate>0)||complex1==0||conjug
ate==0))
{cout<<"-"<<fabs(complex1)<<"*"<<fabs(conjugate);}
cout<<"i^2)/(";
cout<<fabs(real2)<<"*"<<fabs(real2)<<"+"<<fabs(complex2)<<"*"<<fabs(complex2)<<"=";//end of
part 3
if(real11>=0&&((real1>0&&real2>0)||(real1<0&&real2<0)||(real1==0&&real2>0)||(real1>0&&real2=
=0)))
{cout<<fabs(real11);}
else if(real11<=0&&((real1>0&&real2<0)||(real1<0&&real2>0)||real1==0||real2==0))
{cout<<"-"<<fabs(real11);}

```

```

if(real12>=0&&((real1>0&&conjugate>0)||(real1<0&&conjugate<0)||(real1==0&&conjugate>0)||(real1
>0&&conjugate==0)))
    {cout<<"+"<<fabs(real12);}
else
if(real12<=0&&((real1>0&&conjugate<0)||(real1<0&&conjugate>0)||real1==0||conjugate==0))
    {cout<<"-"<<fabs(real12);}
    cout<<"i";
if(real21>=0&&((real2>0&&complex1>0)||(real2<0&&complex1<0)||(real2==0&&complex1>0)||(real
2>0&&complex1==0)))
    {cout<<"+"<<fabs(real21);}
else
if(real21<=0&&((real2>0&&complex1<0)||(real2<0&&complex1>0)||real2==0||complex1==0))
    {cout<<"-"<<fabs(real21);}
    cout<<"i";
    real22=real22*(-1)//-----//
if(real22>=0&&((complex1>0&&conjugate<0)||(complex1<0&&conjugate>0)||(complex1==0&&conju
gate<0)||(complex1<0&&conjugate==0)))
    {cout<<"+"<<fabs(real22);}
else
if(real22<=0&&((complex1>0&&conjugate>0)||(complex1<0&&conjugate<0)||complex1==0||conjugat
e==0))
    {cout<<"-"<<fabs(real22);}
    cout<<")\n";
    cout<<"||t(";
    cout<<real2*real2<<"+"<<complex2*complex2<<")=";//end of part 4

```

Таким образом, для создания консольного калькулятора необходимо обладать знаниями в области алгебры и информатики, а также уметь применять их на практике при программировании в среде разработки проекта.

Список литературы

1. *Епихин, В.Е.* Комплексные числа: методическая разработка для учащихся заочного отделения ММФ / В. Е. Епихин. – М.: Изд-во центра прикладных исследований при механико-математическом факультете МГУ, 2008. – С.3–6.
2. *Полутова, Н.А.* Перевод вещественных чисел из восьмеричной системы в шестнадцатеричную и обратно/ Н.А. Полутова, Л.Н. Васильева // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: материалы XII Всероссийской научно-технической конференции. – 2017. – С. 378-382.
3. *Чепчугов, В.А.* Разработка приложения "Представление вещественных чисел в памяти ЭВМ" / В.А. Чепчугов, Л.Н.Васильева // Сборник научных трудов молодых ученых и специалистов – Чебоксары, 2017. – С. 92-96.
4. *Викторов, А.А.* Анализ использования математических программных продуктов для изучения свойств замечательных кривых и их построение на плоскости. / А.А. Викторов, И.И. Ильина // Информатика и вычислительная техника. Сборник научных трудов. – Чебоксары, 2018. – С. 61-66.
5. *Викторов, А.А.* Применение средств компьютерной графики при изучении дифференциальных уравнений в среде Matcad./ А.А. Викторов, И.И. Ильина // Математические модели и их приложения. Сборник научных трудов.–Чебоксары, 2018. – Вып. 20. – С. 118-122.
6. С++ - Википедия URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/C++> (дата обращения: 20.10.2018).

Материал поступил в редколлегию 21.10.18.

Э.Х. Галиев, Г.И. Ханнанова, Р.Н. Салахов
(г. Казань, Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А. Н. Туполева – КАИ)

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ И КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТНЫМ МЕТОДОМ НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ ЛАХ И ЛФХ

Проанализированы устойчивость и качество регулирования частотным методом с использованием программы MatLab. Также для решения квадратного уравнения используем программу MathCad. Подтверждено, что система устойчива и выведены запас устойчивости по амплитуде и запас устойчивости по фазе.

In this paper, the program MatLab is used to analyze the stability and quality of frequency control. We also use MathCad to solve the quadratic equation. It is confirmed that the system is stable and the amplitude stability margin and phase stability margin are derived.

Ключевые слова: система, ЛАХ, ЛФХ, устойчивость, запас, амплитуда, фаза.

Keywords: system, LAH, LFH, stability, reserve, amplitude, phase.

Оценка устойчивости определяется по разомкнутой передаточной функции:
$$W(p) = \frac{K=K_{двс}K_yK_{п}}{(T_{\Delta}T_M p^2 + T_M p + 1)(T_y + 1)\left(\frac{K_d}{K_I}p + 1\right)p},$$

$$T_M = 0,08 \text{ с}, T_{\Delta} = 0,0005 \text{ с}.$$

Далее запишем отдельно первую скобку знаменателя уравнения, приравняем её к нулю, для того чтобы определить корни этого уравнения

$$T_{\Delta}T_M p^2 + T_M p + 1 = 0.$$

Решая квадратное уравнение с помощью программы Mathcad, получим следующие 2 корня:

$$P_1 = -12, P_2 = -1987,$$

$$\text{Отсюда следует } T_{п1} = 0,083, T_{п2} = 0,0005, \text{ где } T_{пi} = \frac{1}{P_i}.$$

Следовательно, передаточная функция разомкнутой системы примет следующий вид:

$$W(p) = \frac{K}{(T_{п1}p + 1)(T_{п2}p + 1)(T_y + 1)\left(\frac{K_d}{K_I}p + 1\right)p}. \quad [2].$$

Для нахождения T_1 и T_y необходимо построить ЛАХ разомкнутой системы (рис.1).

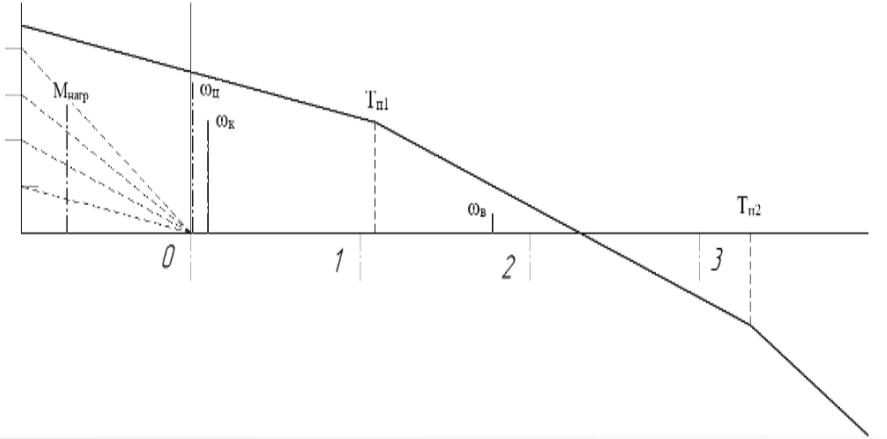


Рис. 1. ЛАХ разомкнутой системы

На рис. 1 синим штрихом показаны входные воздействия момента нагрузки $M_{нр}$, качки ω_k , наведения $\omega_{ц}$ и вибрации ω_v , синим сплошным ЛАХ разомкнутой системы [1]. Из рисунка видно, что все входные воздействия обрабатываются.

$$T_y = \frac{1}{(10 \dots 40 \omega_{cp})} = \frac{1}{40 * 219} = 0,000114 \text{ с.}$$

Для анализа устойчивости и качества регулирования частотным методом, построены ЛАХ и ЛФХ в программе MatLab, а также произведено моделирование системы коррекции оси визирования по азимуту [3].

Построим схему моделирования исходной разомкнутой системы:



Рис.2. Схема моделирования

На рис. 3 представлены графики ЛАХ и ЛФХ системы с рис. 2.

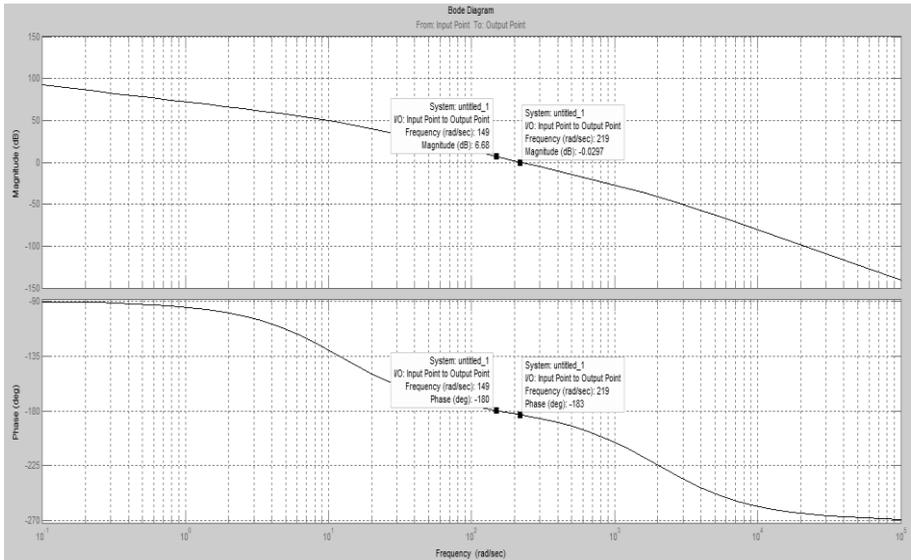


Рис. 3. Графики ЛАХ и ЛФХ

Из рис. 3 видно, что система не устойчива. Запасы по фазе равны -2 град, а по амплитуде -3.82 дБ. Для устойчивости системы берем T_1 , равную 0,01 с.

После ввода T_1 система становится устойчива. Ее схема моделирования представлена на рис. 4. А графики ЛАХ и ЛФХ на рис. 5.



Рис. 4. Схема моделирования

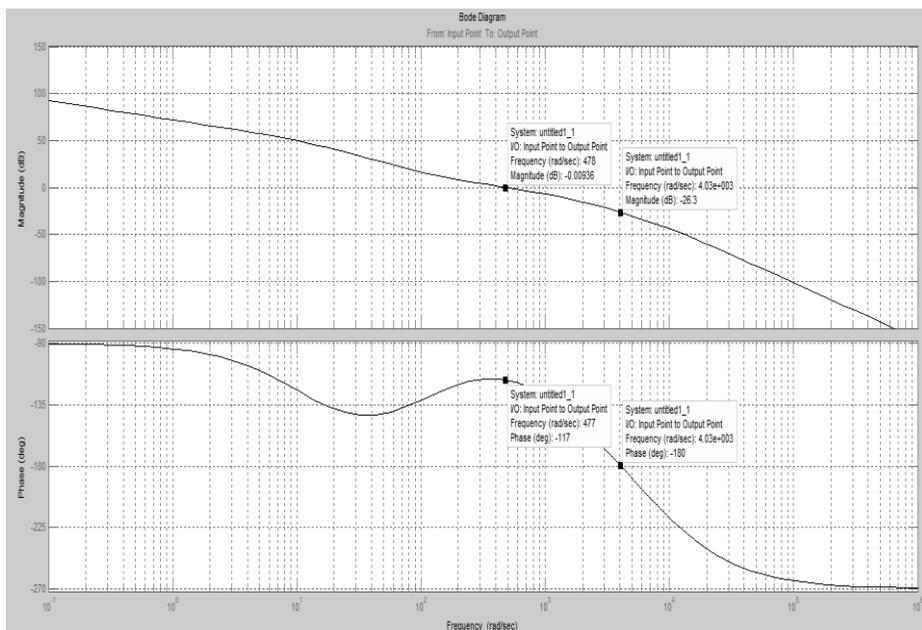


Рис. 5. Графики ЛАХ и ЛФХ

Из рис. 5 можно сделать вывод, что запасы устойчивости по фазе 63 градуса и запас устойчивости по амплитуде 26,3 дБ.

Список литературы

1. Желнин, А.А. Способ косвенной стабилизации по угловым скоростям и ускорениям качки и раздельной обработкой полезных сигналов. Математическая морфология. / А.А. Желнин //Электронный математический и медико-биологический журнал. – 2013. – Т.12. – Вып. 1.
2. Бесекерский, В.А. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления./ В.А. Бесекерский, А.Н. Герасимов, С.В. Лучко, А.В. Небылов. – 5-е изд., перераб. – М.: Изд-во «Наука». – 1978. – 512 с.
3. Бабаев, А.А. Стабилизация оптических приборов/ А.А. Бабаев. – Л.: Маш., 1975.–192 с.

Материал поступил в редколлегию 21.09.18.

И.Л. Доненко, А.В. Доненко, В.А. Лукьяненко
(г. Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНЫХ ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ФРАКТАЛЬНОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКЕ

Для описания распределения интенсивности света и анализа фрактальной геометрии регулярных и нерегулярных фракталов, применяемых в оптоэлектронных устройствах, представляют фрактальные распределения интенсивности излучения в зависимости от расположения и порядка генерации фракталов. Приведено численное моделирование дифракции излучения, прошедшего регулярные и нерегулярные геометрические фракталы, и впервые построены 3D-модели пространственных фотонных кристаллов, сформированных на основе полученных экспериментальных данных.

To describe the distribution of light intensity and the analysis of the fractal geometry of regular and irregular fractals used in optoelectronic devices, fractal distributions of radiation intensity are presented depending on the location and order of generation of fractals. In this paper, numerical simulation of diffraction of radiation passing regular and irregular geometric fractals is presented and 3D models of spatial photonic crystals formed on the basis of the experimental data obtained are constructed for the first time.

Ключевые слова: геометрические фракталы, прототипирование и компьютерное моделирование, компьютерное моделирование, САПР.

Keywords: geometric fractals, prototyping and computer modeling, computer simulation, CAD.

В настоящее время интерес к зонным пластинкам связан с тем, что они являются ключевым элементом формирования изображений в томографии и рентгеновской микроскопии.

В наших ранних работах [1, 2] представлены экспериментальные результаты исследований, в работах Лукьяненко В.А., Доненко А.В. [3] представлена математическая модель данного эксперимента.

В работе представлены результаты компьютерного моделирования, и экспериментального исследования фазовых зонных пластинок вблизи фокуса микрообъектива.

Методика измерения заключается в получении дифракционных картин лазерного излучения, прошедших различного типа транспаранты в свободном пространстве, и расчёте их фрактальных размерностей.

Для расчета интенсивности от фокусного расстояния применялось авторское программное обеспечение.

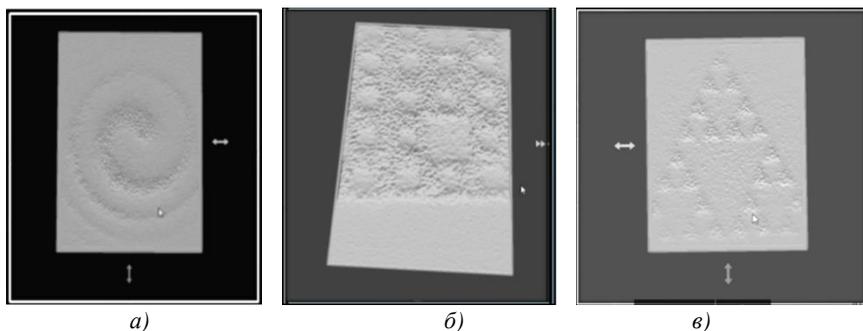


Рис.1. а – 3D модель фотонного кристалла для ковра Серпинского; б – 3D модель фотонного кристалла для спиралевидного транспаранта; в – 3D модель фотонного кристалла для треугольника Серпинского

Выводы: Для транспаранта типа ковра Серпинского было получено, что структура фрактальной размерности не разрушается. Экспериментальная кривая совпадает с теоретической.

Для спиралевидного транспаранта в отличие от транспаранта типа ковра Серпинского, при прохождении двойного фокуса получается инверсное изображение, а при прохождении фокуса структура имеет вид двойной спирали. За двойным фокусом происходит разрушение дифракционной картины.

Для транспаранта типа «треугольник Серпинского» получены фрактальное изображение и его размерность, близкая к теоретической. Треугольник Серпинского является неустойчивым транспарантом, т.к. маленькие треугольники схлопываются при определенной итерации, что приводит к разрушению фрактальной дифракционной картины.

Впервые построены 3D-модели пространственных фотонных кристаллов, сформированных на основе полученных экспериментальных данных.

Список литературы

1. Доненко, И.Л. Фрактальное отображение полей многомодовых оптических волокон/ И.Л. Доненко. – Симферополь, КФУ им. В.И. Вернадского, 2017.
2. Доненко, И.Л. Виртуальное моделирование и исследование оптических фрактальных отображений/ И.Л. Доненко, В.И. Шостка – Тамбов, ТГТУ, 2017.
3. Лукьяненко, В.А. Нелинейные параболические уравнения и их приложения/ В.А. Лукьяненко, А.В. Доненко. – Симферополь, КФУ им. В.И. Вернадского, 2017.

Материал поступил в редколлегию 17.09.18.

К.А. Индюхов, К.А. Батенков, А.Е. Миронов, М.В. Стремоухов
(г. Орел, Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ШУМА В СИСТЕМАХ СВЯЗИ XDSL

Приведены математические выражения, описывающие основные характеристики импульсного шума.

Mathematical expressions describing the main characteristics of impulse noise are presented.

Ключевые слова: импульсный шум, математическое представление, параметры импульсного шума.

Keywords: impulse noise, mathematical representation, parameters of impulse noise.

В настоящее время не уделяется должного внимания исследованиям влияния импульсного шума на передаваемую информацию. Это связано с возможностью перехода к использованию оптоволоконных линий связи, что во многом решает данную проблему. Однако в ситуациях, когда замена медных кабелей на оптоволокно невозможна, вопрос о борьбе с импульсными помехами встает более остро.

В связи с общим технологическим прогрессом, а также растущими потребностями пользователей, шумовая обстановка вокруг оконечного устройства цифровой абонентской линии становится все более сложной. Это вызвано появлением различных бытовых приборов, которые являются источниками импульсных шумов и находятся в непосредственной близости от кабеля связи. Создаваемый ими импульсный шум имеет существенно нестационарные свойства, оказывающие значительное влияние на процесс приема пользовательских данных.

Рассмотрев существующие модели импульсных шумов, можно отметить некоторые характерные особенности их описания. Амплитуда импульсного шума описывается нормальным законом распределения, а моменты появления импульсов подчиняются пуассоновскому распределению. Источники импульсных помех независимы по пространству и времени, а их главными представителями являются электромеханические бытовые приборы, аварии линий сильного тока, удары молнии.

Следует отметить, что влияние импульсных помех на передаваемый сигнал сильно зависит от состояния их источников. В моменты включения и выключения приборов, а также в моменты переключения их режимов работы наблюдаются сильные импульсные помехи. Основными характеристиками импульсного шума являются моменты появления, амплитуда и длительность импульсов. В общем виде амплитуду импульса шума можно описать следующей формулой[1]:

$$f_i(u) = \frac{1}{240u_0} e^{-\left|\frac{u}{u_0}\right|^{\frac{1}{5}}},$$

где $f_i(u)$ – это плотность распределения амплитуды импульса шума;
 u_0 – параметр, определяющий функцию формы.

Длительность импульсов шума характеризуется следующей формулой:

$$f_i(t) = B \frac{1}{\sqrt{2\pi s_1 t}} e^{-\frac{1}{2s_1^2} \ln^2 \frac{t}{t_1}} + (1 - B) \frac{1}{\sqrt{2\pi s_2 t}} e^{-\frac{1}{2s_2^2} \ln^2 \frac{t}{t_2}},$$

где $f_i(t)$ – это плотность распределения длительности импульсов шума;
 B – параметр, определяющий xTU-R или xTU-C;
 t_1, t_2 - средние значения;
 s_1, s_2 - параметры логнормального распределения.

Моменты появления импульсов можно представить следующей формулой:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},$$

где $f(t)$ – это плотность распределения моментов появления импульсов;
 λ – интенсивность появления импульсов.

Анализ существующих данных позволяет сделать вывод о том, что влияние внутрикомнатных устройств на передачу сигнала в системах связи достаточно тяжело представить общей универсальной моделью.

Список литературы

1. Krejci J., Zeman T. Analyze of impulse noise // Knowledge in Telecommunication Technologies and Optics, КТТО, 2010.

Материал поступил в редколлегию 09.10.18.

М.В. Илюшин, И.М. Антонов, И.А. Карабцев
(г. Орел, Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации)

ЭФФЕКТИВНОЕ СЖАТИЕ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА В ВИДЕ ПСЕВДОИЗОБРАЖЕНИЯ

Описан один из перспективных методов эффективного сжатия речевого сигнала, предполагающего его представление в виде псевдоизображения. К полученному псевдоизображению был применен алгоритм сжатия неподвижных изображений JPEG.

The describe one of the promising methods of effective voice compression is presented, which involves its representation in the form of a pseudo-image. The JPEG still images compression algorithm was applied to the resulting pseudo-image.

Ключевые слова: речевой сигнал, псевдоизображение, JPEG.

Keywords: speech signal, pseudo-image, JPEG.

В настоящее время эффективное использование пропускной способности каналов связи и объема памяти в запоминающих устройствах при передаче и хранении речевого сигнала соответственно является важным направлением при разработке перспективных и эксплуатации существующих сетей связи. Указанная тенденция диктует необходимость в применении высокоэффективных алгоритмов кодирования (сжатия) речевого сигнала (РС). При этом не стоит забывать о связи степени сжатия и качества звучания восстановленной речи.

На практике РС после его аналого-цифрового преобразования подвергается различным алгоритмам обработки. В частности, существует множество методов сжатия оцифрованного сигнала, а также методов повышения качества и разборчивости речи.

На сегодняшний день все многообразие форматов и стандартов сжатия РС можно разделить на методы непосредственного кодирования, параметрические и гибридные методы. Методы первой группы обеспечивают приемлемое качество воспринимаемой речи, но низкую степень сжатия; другие, наоборот, предусматривают хорошую степень сжатия, но высокую сложность реализации алгоритма и сравнительно невысокое качество восприятия речи.

Аналитический обзор результатов исследований в области разработки методов компактного представления РС позволил выявить ряд перспективных методов. Указанные методы основаны на устранении перцептуальной избыточности исходного РС [1, 2] и временной

избыточности смежных речевых кадров, имеющих периодическую структуру [3], представлении отсчетов РС в виде псевдоизображения [3, 4].

Реализация алгоритма сжатия РС на основе представления его речевых отсчетов в виде псевдоизображения с дальнейшим применением стандарта *JPEG* [5] показала его состоятельность и конкурентноспособность по сравнению с популярными речевыми кодеками.

Изображение формировалось на основе телевизионной (построчной) развертки последовательности речевых отсчетов фрагмента русской речи блоками размером 8*8 (1 блок = 64 последовательно идущих отсчетов исходного фрагмента РС, картинка = 16*16 блоков). Коэффициент сжатия фрагмента исходного РС был равен 6. Результаты исследований позволили сделать вывод о сохранении в восстановленном фрагменте РС русской речи разборчивости и узнаваемости на достаточно высоком уровне, значения объективных мер искажений между исходным и восстановленным речевыми фрагментами показали способность предложенного алгоритма эффективно преобразовывать РС.

Задачи анализа РС и его дальнейшей эффективной обработки могут быть полезными не только для популярных применений (сжатие РС, идентификация личности по голосу и т.д.), но и для нетрадиционных задач, таких, как установление психо-физического состояния диктора в определенной ситуации (медицина, оборона), поиск людей (система оперативно-розыскных мероприятий), определение качества обслуживания (запись разговоров с оператором) и т.д.

При учете указанных возможных направлений применения методов эффективного представления РС были проведены исследования рассматриваемого алгоритма и получены оценки (рис. 1) качества синтезированного сигнала на скоростях 8, 10, 16 кбит/с в соответствии с различными степенями сжатия и методами временного (*MSE* – среднеквадратичная ошибка, *SNR* – отношение сигнала/шум), частотного (*CD* – кепстральное расстояние, *COSH* – расхождение спектров исходного и декодированного сигналов) и психоакустического (*FOSD* – функция ощущения спектральной динамики) анализа.

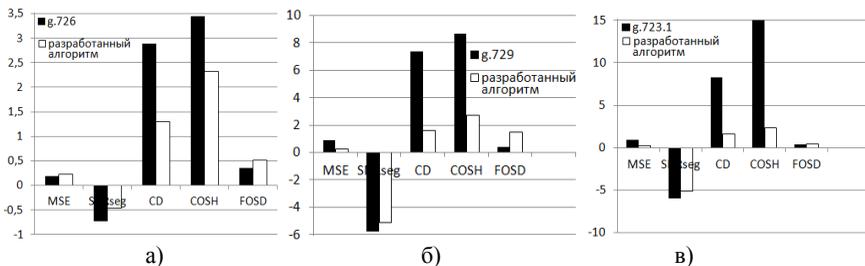


Рис. 1. Значения объективных показателей качества восстановленной русской речи некоторых низкоскоростных кодеков и разработанного алгоритма при сжатии x4 (а), x8 (б), x10 (в) раз

Из рис. 1 видно, что разработанный алгоритм показывает лучшие результаты по сравнению с существующими алгоритмами, причем чем выше степень сжатия (ниже скорость кодирования), тем лучше показатели качества восприятия речи. Исключением являются оценки, полученные с помощью функции ощущения спектральной динамики *FOSD* (для случаев а) и б) значения немного превышают оценки для алгоритмов *G.726* и *G.729*, а в случае сравнения с алгоритмом *G.723.1* – почти равны). Этот факт можно объяснить сравнительно малым объемом выборки тестовых речевых фрагментов.

На рис. 2 показаны значения объективных показателей качества восприятия речи различных языков для разных коэффициентов сжатия.

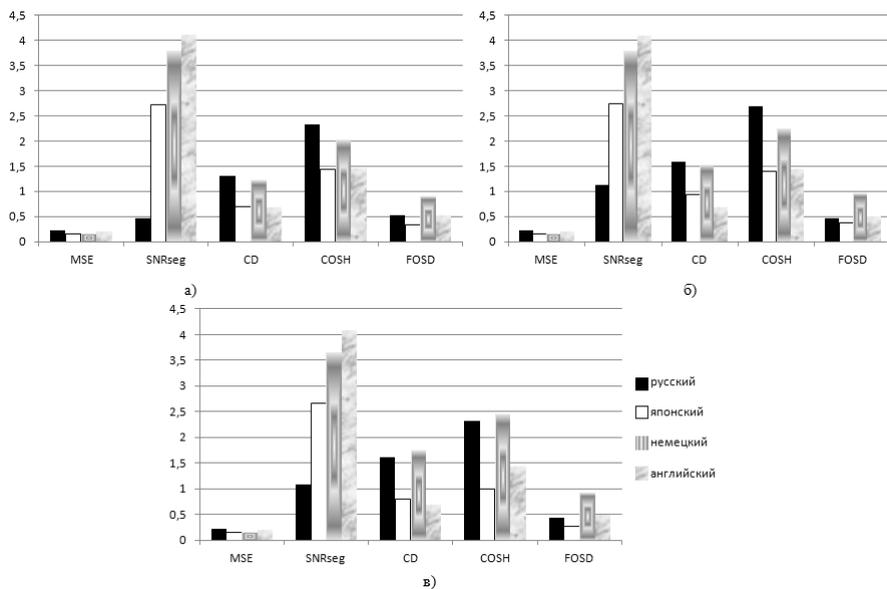


Рис.2. Значения объективных показателей качества восприятия речи разных языков при сжатии разработанным алгоритмом в 4 (а), 8 (б) и 10 раз (в)

Исходя из сравнительной характеристики видно, что при различной степени сжатия разработанный алгоритм показывает пропорциональные результаты на всех 4-х языках.

В заключение необходимо отметить, что в основе существующих стандартов сжатия подвижных изображений лежит алгоритм сжатия неподвижных изображений *JPEG*. В этой связи перспективным направлением исследований является разработка алгоритма совместного кодирования (декодирования) речевой и видеоинформации.

Предлагаемый алгоритм кодирования (декодирования) речевой и видеоинформации предполагает представление аудиоданных в виде псевдоизображений, инкапсулированных в блок кадра неподвижного изображения для совместного кодирования, например, алгоритмом *JPEG* (рис. 3).

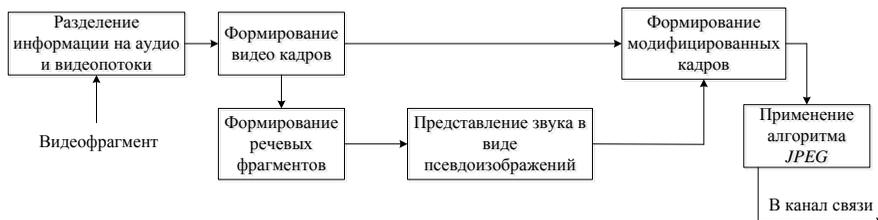


Рис. 3. Структурная схема совместного кодирования речевой и видеоинформации

При реализации указанного подхода необходимо исследовать степень влияния выбранного варианта развертки и матрицы квантования на значения объективных показателей качества восприятия неподвижного изображения.

Список литературы

1. Лившиц, М.З. Широкополосный CELP-кодер с мультиполосным возбуждением и многоуровневым векторным квантованием по кодовой книге с реконфигурируемой структурой / М.З. Лившиц, М. Парфенюк, А.А. Петровский // *Цифровая обработка сигналов*, 2005. – № 2. – С. 20–35.
2. Илюшин, М.В. Кодирование широкополосного речевого сигнала с адаптацией к психоакустическим особенностям восприятия синтезированной речи человеком / М.В. Илюшин, К.С. Беспалов, А.П. Бочарников. // *Научно-технический журнал "Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета"* № 4 (выпуск 42). – 2012. – Ч.1. – С. 8–13.
3. Гаврилов, И.А. Сжатие аудиосигналов на основе межаудиокадровой обработки и псевдоизображений / И.А. Гаврилов, Х.Х. Носиров, М.Р. Мансурова. // *Электросвязь*. – 2010. – № 2. – С. 64–66.
4. Носиров, Х.Х. Фрактально-спектральный метод сжатия широкополосных аудиосигналов / Х.Х. Носиров, И.А. Гаврилов, Т.Г. Рахимов. // *Электросвязь*, 2010. – № 2. – С. 64–66.
5. Илюшин, М.В. К вопросу об эффективном сжатии речевого сигнала / М.В. Илюшин, М.В. Стремоухов, П.К. Литвин. // *Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2018* : сб. тр. междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. / под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань, 2018. – Т.1. – С. 205–209.

Материал поступил в редколлегию 11.10.18.

О.В. Порубай

(Узбекистан, г. Фергана, Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий им. Мухаммада ал-Хоразмий)

МНОГОМАСШТАБНЫЕ ВЕЙВЛЕТ- ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КАК МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СЖАТИЯ СИГНАЛОВ

Рассмотрена актуальная проблема уменьшения большого потока информационных данных за счет сжатия информации известными методами вейвлет-преобразования. Описаны вейвлеты и проанализированы их функции при сжатии информации.

This article touches upon the current topic, reducing the large flow of information data by compressing information, known methods of wavelet transform. A description of wavelets and analysis of their functions in the compression of information.

Ключевые слова: информационный поток, вейвлеты (всплески), вейвлет-преобразование, анализ изображений, симлеты, койфлеты.

Keywords: information flow, wavelets, wavelet transform, image analysis, symlets, coiflet.

Введение

Современная эпоха имеет такое огромное количество информационных потоков данных, что для обработки, хранения и передачи этих данных не обойтись без цифрового преобразования, которое, в свою очередь, представлено последовательностью 0 и 1, имеющих достаточно большую длину. В данной статье рассматривается актуальная тема анализа различных вейвлет-преобразований для решения задачи сжатия и уменьшения объемов цифровой информации за счет отбрасывания ненужных составляющих.

Среди множества решений задачи сжатия информационных потоков данных одну из главных позиций занимают вейвлеты, которые рассматриваются многими учеными в различных областях науки.

Впервые упоминание о понятии «вейвлет» было описано в работах таких ученых, как А. Гроссман и Ж. Морле, которые занимались цифровой обработкой и анализом сейсмических сигналов. Но как показывает история, более раннее понятие вейвлетов затрагивалось немецким физиком Альфредом Хааром еще в 1910 году, когда им была опубликована полная ортонормальная система базисных функций с локальной областью определения (сейчас они называются вейвлетами Хаара или HAAR-вейвлеты) [3]. Описанные в данном труде функции (рис. 1.), очень удобны для анализа:

$$\psi(t) = \begin{cases} +1, & 0 \leq t < 0,5 \\ -1, & 0,5 \leq t < 1 \\ 0, & t < 0, t \geq 1 \end{cases}$$

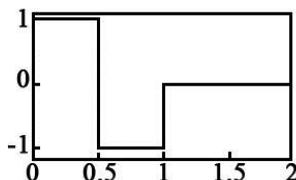


Рис. 1. График HAAR-вейвлета

Связь вейвлетов и многомасштабного анализа

Предлагаю рассмотреть задачу: имеется некий сигнал (в нашем случае изображение). Для раскрытия идеи многомасштабного анализа следует взглянуть на сигнал сначала очень близко под микроскопом, затем через лупу, потом отойти и посмотреть издали (рис. 2.).



Рис.2. Пример многомасштабного анализа изображения

Что же это нам даст? Первое, мы можем поэтапно уточнять сигнал и выявлять его особенности, далее разделять их по интенсивности. Второе, в зависимости от масштаба можно определять динамику изменения сигнала.

Если резкие скачки чаще всего видны "невооруженным глазом", то взаимодействия событий на мелких масштабах, перерастающие в крупномасштабные явления, увидеть очень сложно. И наоборот, если акцентироваться только на мелких деталях, можно не заметить явлений, происходящих на более широком уровне [2].

Перечислим преимущества вейвлетов: первое - вейвлет-алгоритмы работают не с частью изображения, а с изображением целиком; второе - благодаря им, легче проводить анализ прерывистых сигналов и сигналов с резкими всплесками; третье - качество практически не меняется, даже при вейвлет-сжатии в стократном размере.

Рассмотрим идею применения вейвлет-преобразований для многомасштабного анализа: рассматриваемый сигнал можно разложить по базису, каждая функция базиса характеризует отдельную (временную) частоту и ее расположения в физическом пространстве.

Для более лучшей замены одного исходного сигнала на другой, вейвлеты могут подвергаться масштабированию и сдвигу (смещению).

Результат вейвлет-преобразования - обычный массив числовых коэффициентов. Такая форма представления информации очень удобна, поскольку числовые данные легко обрабатывать [1].

Затем следует еще один очень важный этап - пороговое преобразование. Нужно отбросить коэффициенты, значение которых близко к нулю. Но не следует забывать о том, что при этом происходит потеря информации, которую невозможно будет восстановить, ведь отброшенные коэффициенты участвуют в формировании сигнала. Поэтому выбранное пороговое значение коэффициентов значительно влияет на качество сигнала – если будет задан слишком высокий порог, то он повлечет за собой падение качества [1].

В отличие от преобразования Габора, вейвлет-преобразования имеют преимущества в том, что они покрывают координатную плоскость ячейками разной формы, но одинаковой площади (рис. 3.), что дает возможность хорошо расположить низкочастотные детали сигнала в частотной области, а высокочастотные – во временной (резкие скачки, пики и т.п.).

Также благодаря вейвлет-анализу имеется возможность проводить исследование поведения функций, не имеющих производных ни в одной своей точке, называемых фрактальными.

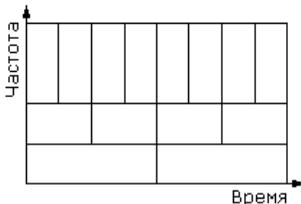


Рис.3. Фазовая плоскость вейвлет-преобразования

Анализ сравнения различных видов вейвлет-преобразований

Первыми будем рассматривать **вейвлеты Хаара**. Они имеют хорошую возможность быть локализованными в пространстве, но т.к. сигнал имеет широкий спектр частот, в частотной области они не очень хорошо локализованы. У вейвлетов Хаара функция ψ имеет вид прямоугольных импульсов сигнала (значение 1 в интервале $[0,0.5]$ и -1 в интервале $[0.5,1]$), а функция ϕ имеет значение 1 в интервале $[0,1]$ и 0 за пределами этого интервала (рис. 4).

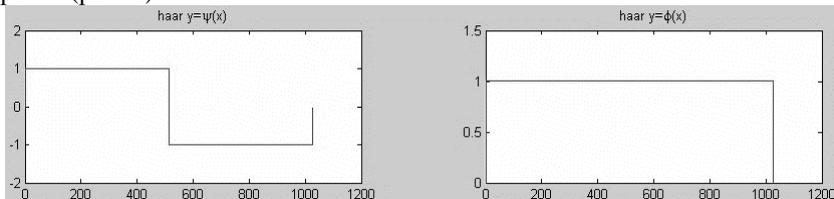


Рис. 4. Вейвлет Хаара и его функции ψ и ϕ

На примере преобразования Хаара хорошо увидеть структуру вейвлет-преобразования дискретного сигнала. На каждом шаге преобразования сигнал распадается на две составляющие: приближение с более низким разрешением – аппроксимацию и детализирующую информацию [4].

Вейвлеты Хаара обладают «негладкостью», тем самым не могут быть применены для полной реконструкции сигнала. В данном случае на помощь приходят *вейвлеты Добеши*, названные в честь Ингрид Добеши, которая предложила использовать функции, вычисляемые итерационным путем.

Вейвлеты Добеши имеют следующие свойства: ортогональность, компактный носитель (т.е. среднее значение функции равно нулю и функция быстро убывает на бесконечности), а также эти функции $n+2$ раз пересекают ось абсцисс. При этом n называют порядком вейвлета. При $n = 1$ получаем вейвлет Хаара [5]. Вейвлеты Добеши 2, 4 и 10 порядка, представлены на рис. 5.

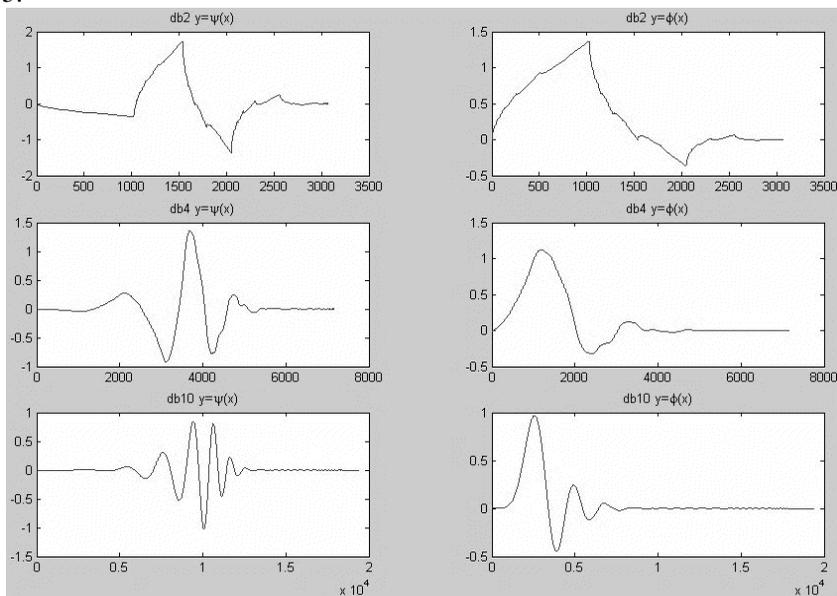


Рис. 5. Вейвлеты Добеши порядка 2, 4 и 10

Из рис. 5 можно увидеть, что «гладкость» вейвлета возрастает при увеличении порядка вейвлета – это увеличивает его возможности, однако, приводит к увеличению объема вычислений при преобразовании.

Использование вейвлетов Добеши уменьшается, в связи с этим они не могут обладать симметричностью. Но есть возможность приближения к симметрии благодаря таким вейвлетам, которые получили название *симлетами*.

Вопрос о построении вейвлетов, у которых не только функция вейвлета $y(x)$, но и порождающий вейвлет $j(x)$ имеют нулевые моменты, был впервые

поставлен Р.Койфманом, поэтому такие вейвлеты называются *койфлетами*. Наличие нулевых моментов в порождающих вейвлетах облегчает анализ и вейвлетпреобразование. Койфлеты несимметричны, однако они более симметричны, чем вейвлеты Добеши [5]. На рис. 6 показан вид функций симлетов и койфлетов 4-го порядка.

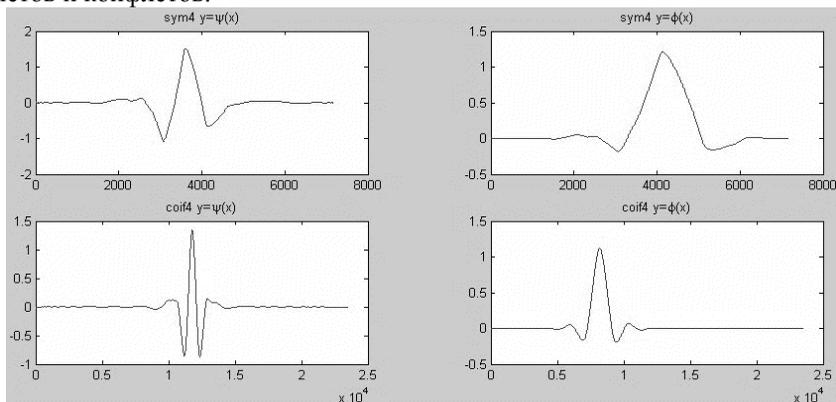


Рис. 6. Вид функций симлетов и койфлетов 4-го порядка

Заключение

Подведем некоторые итоги:

- Большой коэффициент сжатия при помощи вейвлет-преобразований делает изображение менее четким, что воспринимается человеческим глазом гораздо лучше.
- Имеется возможность использования различных функций в качестве базисных, а также создание новых вейвлетов для разных типов сигналов с более точным приближением к ним.
- Имеется возможность поэтапного отображения изображения в процессе загрузки по сети.

Список литературы

1. *Бурнаев, Е.В.* Применение вейвлет-преобразования для анализа сигналов: учебно-методическое пособие/ Е.В. Бурнаев. – М.: МФТИ, 2007. – 138 с.
2. *Воробьев, В.И.* Теория и практика вейвлет-преобразования/ В.И. Воробьев, В.Г. Грибунин. – СПб.: ВУС, 1999. – 204 с.
3. *Демьянович, Ю.К.* Введение в теорию вейвлетов: курс лекций/ Ю.К. Демьянович, В.А. Ходаковский. – СПб.: Изд-во С.-Пб. ун-та, 2007. – 49 с.
4. *Нагорнов, О.В.* Вейвлет-анализ в примерах: учебное пособие/ О.В. Нагорнов, В.Г. Никитаев, В.М. Простокишин, С.А. Тюфлин, А.Н. Проничев, Т.И. Бухарова, К.С. Чистов, Р.З. Кашафутдинов, В.А. Хоркин. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 120 с.
5. Электронный ресурс: http://www.kafedra-des.narod.ru/download/sdes/3_wavelet.pdf

Материал поступил в редколлегию 13.09.18.

А.А. Румянцев, Р.Р. Хабибулин, А.С. Александров
(г. Казань, Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЙТИНГА НАУЧНЫХ СОТРУДНИКОВ КНИТУ-КАИ

Рассмотрена система проектирования интегрированного рейтинга публикационной активности научных сотрудников КНИТУ-КАИ на основе экспертных оценок. Исследована эффективность научной работы сотрудников кафедры АСОИУ КНИТУ-КАИ с использованием разработанной системы.

In this work the system for engineering of publication activity rating for science employees of KNITU-KAI with using of expert evaluation is reviewed. Research of effectiveness of science work for the department of ASOIU in KNITU-KAI is made with the developed system.

Ключевые слова: КНИТУ-КАИ, SCIENCE INDEX, автоматизация проектирования, рейтинг публикационной активности.

Keywords: KNITU-KAI, SCIENCE INDEX, engineering automation, publication activity rating.

Расчет интегрированного рейтинга публикационной активности авторов в библиографических базах данных РИНЦ и Scopus является важной задачей для оценки результативности научной деятельности организации на основе вклада каждого сотрудника [1]. Информационно-аналитическая система SCIENCE INDEX предоставляет ряд возможностей статистической оценки деятельности авторов по отдельным показателям, однако не предоставляет исчерпывающую оценку. Расчет интегрированной оценки публикационной активности автора требует учета различных параметров с применением математического аппарата при экспертной поддержке [2]. Эффективный анализ разработанной математической модели и формируемых рейтинговых оценок также требует специальных программных средств интерпретации и визуализации полученных данных.

Разработка алгоритма вычисления интегрированной оценки осуществляется в несколько шагов: анализ показателей авторов, выявление наиболее значимых из них, нормирование выбранных показателей с использованием коэффициентов, математических функций и линейной трансформации, независимая экспертная оценка для полученных параметров, моделирование разработанного алгоритма на статистических данных с оценкой характеристик полученной математической модели и внесением дополнительных корректировок на основе ее анализа. В качестве параметров

для модели в рамках данной работы был выбран индекс Хирша в различных вариациях в РИНЦ [3], индекс Хирша в Scopus, а также рейтинг журналов SCIENCE INDEX, в которых автор опубликовал статьи.

Выбранные показатели научной деятельности авторов, представленные на рис. 1, вводятся в базу данных системы автоматизированного проектирования рейтинга с использованием специализированного интерфейса. Для оценки значимости параметров экспертом вводятся весовые оценки в специальную таблицу данных.

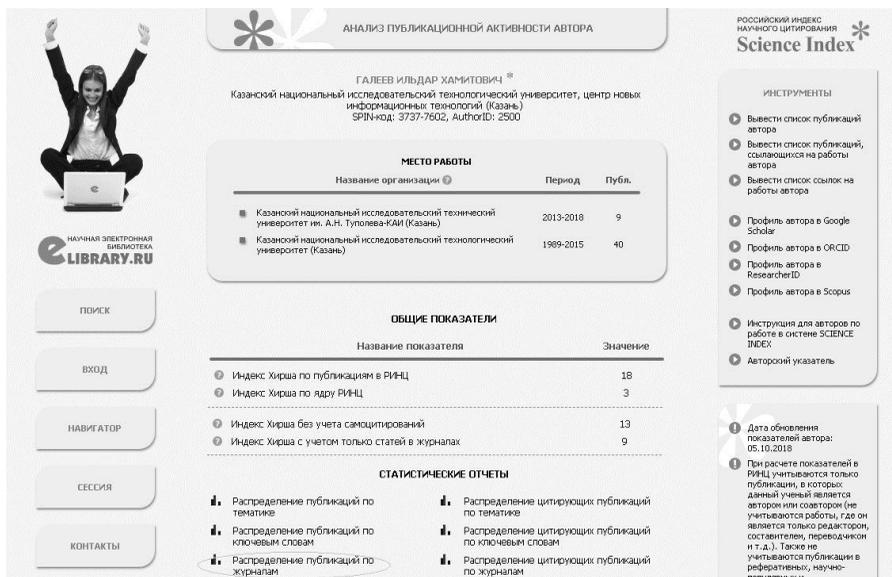


Рис. 1. Параметры автора для расчета оценки в РИНЦ

Разработанная математическая модель расчета реализуется алгоритмически в системе оценки авторов. Формирование рейтинга происходит автоматизированно с использованием заданной математической модели расчета на основе подготовленных исходных данных и экспертных оценок в порядке убывания вычисленных итоговых значений рейтинга. Система поддерживает средства интерпретации полученных результатов с визуализацией в виде гистограмм по различным критериям и общему рейтингу, анализом значимости критериев при принятии решения, а также средства моделирования заданной пользователем математической модели расчета на основе статистической выборки данных из полутора тысячи заранее сформированных путем полуавтоматической обработки записей, аналитически обработанных экспертом, с возможностью определения поведения модели, выявления и оценки ее характеристик на среднестатистической базе данных авторов.

Интерфейс программы представляет собой блоки ввода исходных данных, экспертных оценок, управляющие элементы логики программы, задания математической модели, проведения моделирования, визуализации и интерпретации, а также блоки вывода результатов обработки в графическом и табличном виде. Пример использования системы автоматизированного проектирования рейтинга публикационной активности с обработкой и анализом входных данных сотрудников кафедры АСОИУ КНИТУ-КАИ и вычислением итоговых рейтинговых значений отображен на рис. 2.

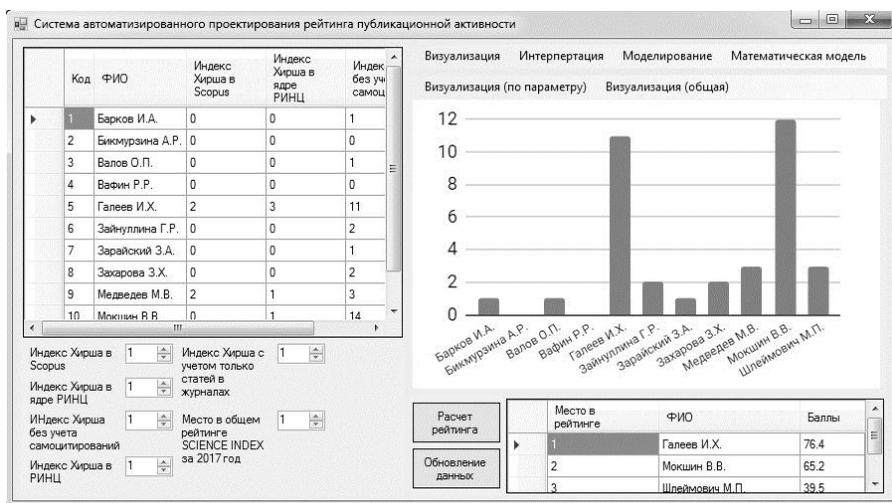


Рис. 2. Интерфейс программной системы и пример использования

Разработанная программная система предоставляет полноценный функционал настройки математической модели, использования экспертной поддержки и анализа данных при автоматизированном проектировании рейтинга публикационной активности авторов для заданных входных данных.

Список литературы

1. Галеев, И.Х. Инновации в оценке эффективности образовательных учреждений / И.Х. Галеев // Инновационные информационные технологии. – 2013. – № 1. – С. 111–119.
2. Галеев, И.Х. Анализ издательской активности научных организаций г. Казани / И.Х. Галеев, А.А. Морева // XXI Туполевские Чтения (Школа молодых ученых): материалы конференции. – Казань, 2013. – Т. 1. – С. 344–346.
3. Галеев, И.Х. Опыт анализа публикационной и издательской активности с использованием РИНЦ / И.Х. Галеев, Н.Х. Галева // Образовательные технологии и общество. – 2012. – № 15. – С. 594–608.

Материал поступил в редколлегию 10.10.18.

СЕКЦИЯ «МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ»

УДК 681.51

DOI: 10.30987/conferencearticle_5c19e69f2008d0.90195586

И.В. Быстрова, Б.П. Подкопаев
(г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина))

ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТЕЙ ИЗ ЦИФРОВЫХ АВТОМАТОВ

Рассматривается задача построения диагностической модели для сети S , состоящей из некоторого числа цифровых автоматов, при условии, что диагностические модели всех компонентов сети известны. Предполагается, что эти модели заданы системами логических уравнений, а подлежащие обнаружению ошибки локализуются в любом, но единственном компоненте сети, причём диагностическая модель этого компонента позволяет их обнаружить. Требуется путём преобразования упомянутых систем уравнений найти аналитическое задание минимальной по порядку диагностической модели сети S , обеспечивающей обнаружение таких ошибок.

The problem of constructing a diagnostic model for a network S consisting of a number of digital automata is considered, provided that the diagnostic models of all network components are known. It is assumed that these models are given by systems of logical equations, and the errors to be detected are localized in any but a single component of the network, and the diagnostic model of this component allows them to be detected. It is required to find the analytical task of the minimal order of the diagnostic model of the network S , which provides the detection of such errors, by converting the mentioned systems of equations.

Ключевые слова: диагностическая модель, цифровой автомат, сеть из цифровых автоматов, логические уравнения, ошибки в сети, функции: соответствия, переходов, выходов, решающая функция.

Keywords: diagnostic model, the digital state machine, a network of digital machines, logic equations, errors in network functions: compliance, transitions, outputs, critical function.

При синтезе средств функционального диагностирования (ФД) цифровых устройств необходимо решить задачу диагностического моделирования (ДМ) объекта диагностирования (ОД). В литературных источниках описано достаточно много способов решения этой задачи, однако, их практическое применение часто наталкивается на препятствие, именуемое "проклятием размерности". Последнее состоит в чрезмерной

трудоёмкости построения модели для сложных ОД, что заставляет для решения задачи ФД разбивать их на части и решать её для каждой части индивидуально. По сути, цифровой ОД трактуется как сеть из цифровых автоматов, а решением диагностической задачи считается совокупность решений таковой для компонентов сети. Полученное решение вполне работоспособно, причём оно, помимо обнаружения ошибок в сети, позволяет производить их локализацию с точностью до отдельного компонента. Однако если требуется только обнаружение ошибок (без локализации), то требуемая избыточность представляется чрезмерной. В настоящей работе предлагается способ преобразования упомянутого решения к виду, минимальному по избыточности, но достаточному для обнаружения ошибок в ОД.

Для простоты положим, что ОД представляет собой совокупность из n цифровых автоматов состояний A_i , образующих сеть S (рис. 1). Как сеть, так и автоматы заданы тройками вида $S = (X, Q, \delta)$, $A_i = (X_i, Q_i, \delta_i)$, в которых X и

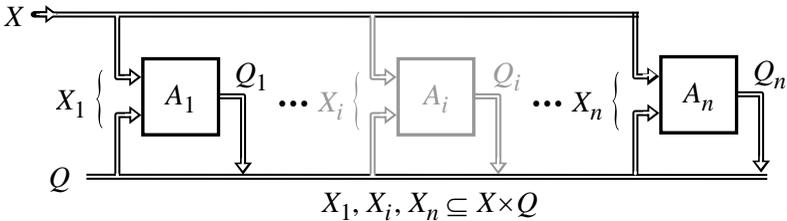


Рис. 1

X_i, Q и Q_i суть множества входов и состояний, а δ и δ_i – функции переходов S и A_i соответственно [1]. Для каждого автомата A_i построено устройство ФД, состоящее из автомата ДМ минимальной размерности $A_{Ki} = (X_{Ki}, Q_{Ki}, \delta_{Ki})$ и дискриминатора ошибок D_i , включающего вычислитель функции соответствия $r_i(q_i)$ и устройство сравнения \otimes , на выходе которого при наличии ошибок в A_i формируется сигнал $\varepsilon_i = 1$ (рис. 2). Такое устройство является частным случаем базовой формы ФД динамических систем, введённой в [2].

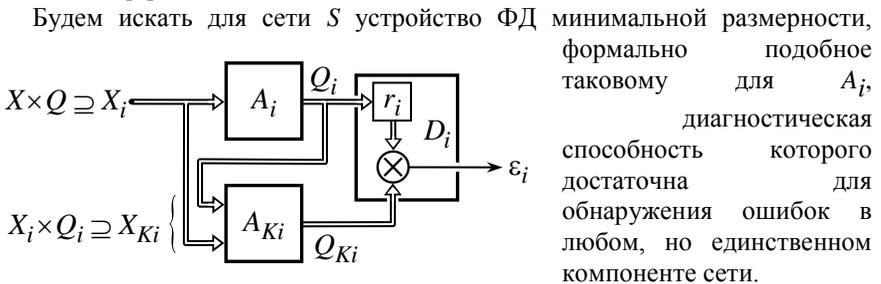


Рис. 2

минимальной размерности, формально подобное такому для A_i , диагностическая способность которого достаточна для обнаружения ошибок в любом, но единственном компоненте сети.

Первое условие принятой постановки задачи требует, чтобы в искомое устройство входили автомат $A_K = (X_K, Q_K, \delta_K)$, осуществляющий ДМ сети, и вычислитель функции соответствия $r(q)$, а обнаружение ошибок производилось путём сравнения текущих значений $r(q)$ и $q_K \in Q_K$ между собой. Второе предполагает, что в конкретный момент времени ошибки сосредоточены в одном компоненте сети.

Очевидно, что для решения задачи, прежде всего, нужно, используя известные функции соответствия $r_i(q_i)$, найти функцию $r(q)$, что одновременно определит и множество состояний Q_K , так как при отсутствии ошибок $q_K = r(q)$. После этого в A_K останется неопределённой только функция переходов δ_K . Вычисление последней сводится к преобразованию совокупности известных функций δ_{K_i} , после чего определится и множество входов X_K , т. е. задача ДМ сети будет решена. Для завершения построения устройства ФД к автомату A_K и функции $r(q)$ достаточно добавить устройство сравнения.

Для начала положим, что все функции соответствия $r_i(q_i)$ скалярны, т. е. имеют единичную размерность. Такая ситуация имеет место в случае, когда множества состояний Q_i можно разбить на два блока так, чтобы при появлении ошибок заданного класса текущие состояния всегда переходили из одного блока в другой. К примеру, это можно сделать в случае наличия только однократных ошибок в двоичных векторах q_i .

В этом случае устройство сравнения \otimes есть двухвходовой сумматор по модулю два, а сигнал ошибки $-\varepsilon_i = r_i(q_i) \oplus q_{K_i}$ и при отсутствии ошибок

$$r_i(q_i) = q_{K_i}. \quad (1)$$

Считая, что $r(q)$ также скалярна, найдём два соотношения для вычисления значения сигнала ошибки в сети S : $\varepsilon = r(q) \oplus q_K$ и $\varepsilon = F(\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_i, \dots, \varepsilon_n)$. Первое обусловлено подобием устройств ФД для A_i и S , второе предполагает наличие некоторой функции F , зависящей от ε_i и принимающей нулевое значение при отсутствии ошибок в сети и единичное при наличии хотя бы одной из них. Поскольку оба соотношения определяют одну и ту же величину, раскрыв значение ε_i , получим:

$$r(q) \oplus q_K = F[r_1(q_1) \oplus q_{K_1}, \dots, r_i(q_i) \oplus q_{K_i}, \dots, r_n(q_n) \oplus q_{K_n}]. \quad (2)$$

Для решения поставленной задачи надо преобразовать равенство (2) так, чтобы функция F в правой его части, удовлетворяя приведённому условию, допускала представление её в виде композиции двух компонентов, первый из которых зависит только от состояний сети, а второй – от состояний A_K . Записав F в виде полинома Жегалкина [3], нетрудно убедиться, что

необходимыми свойствами обладает только сумма по модулю два, а (2) переходит в $r(q) \oplus q_K = \left[\bigoplus_{i=1}^n r_i(q_i) \right] \oplus \left[\bigoplus_{i=1}^n q_{Ki} \right]$, что далее даёт

$$r(q) = \left[\bigoplus_{i=1}^n r_i(q_i) \right] = q_K = \left[\bigoplus_{i=1}^n q_{Ki} \right]. \quad (3)$$

Для задания искомого A_K остаётся определить его функцию переходов δ_K . Для этого воспользуемся двумя известными соотношениями: $q_K = \delta_K(x_K, q_K)$ и $q_{Ki} = \delta_{Ki}(x_{Ki}, q_{Ki})$ [1]. Подставив второе из них в выражение для q_K из (3), получим:

$$q_K = \delta_K(x_K, q_K) = \left[\bigoplus_{i=1}^n q_{Ki} \right] = \left[\bigoplus_{i=1}^n \delta_{Ki}(x_{Ki}, q_{Ki}) \right].$$

Исключив q_{Ki} из последнего выражения с помощью (1), найдём функцию переходов A_K в форме, не зависящей от состояний A_{Ki} :

$$\delta_K(x_K, q_K) = \left\{ \bigoplus_{i=1}^n \delta_{Ki} [x_{Ki}, r_i(q_i)] \right\}. \quad (4)$$

Соотношения (3) и (4) полностью определяют искомое устройство ФД сети S , причём следует отметить, что для реализации её диагностической модели (A_K) информация о состояниях диагностических моделей компонентов (A_{Ki}) не нужна.

На практике функции соответствия для компонентов сети часто представляют собой векторные функции, образованные несколькими скалярными компонентами. Если для некоторого A_i таковых m_i , то $r_i(q_i) = \{r_i(m_{i-1})(q_i), \dots, r_{ij}(q_i), \dots, r_{i0}(q_i)\}$, порядок A_{Ki} и размерность его вектора состояний также равны m , а в устройстве сравнения (рис.2) производится покомпонентное суммирование по модулю $r_i(q_i)$ и q_{Ki} с последующим объединением результатов по "ИЛИ". Каждому ненулевому значению двоичного вектора, полученному в результате упомянутого суммирования, соответствует некоторое подмножество класса ошибок, обнаруживаемых в A_i , их объединение образует весь класс. Вектор, содержащий единственную единицу, фиксирует ошибки из подмножества, обнаружение которых обеспечивает соответствующий компонент функции $r_i(q_i)$. К примеру, если единичен j -й разряд вектора суммы, то ошибки из соответствующего подмножества обнаруживаются с помощью $r_{ij}(q_i)$.

Пусть все функции соответствия компонентов $r_{ij}(q_i)$ имеют одинаковую размерность, равную m . Выберем из каждой функции по одному компоненту, например все $r_{i0}(q_i)$, и построим диагностическую модель сети S для обнаружения ошибок из соответствующих $r_{i0}(q_i)$ подмножеств, считая, что они происходят в одном из компонентов сети. Такая задача решена выше (функция $r_{i0}(q_i)$ скалярна), и моделирующий автомат A_{0K} в соответствии с

(3), (4) имеет состояния $q_{0K} = r_0(q) = \left[\bigoplus_{i=1}^n r_{i0}(q_i) \right]$ и функцию переходов $\delta_{0K}(x_{0K}, q_{0K}) = \left\{ \bigoplus_{i=1}^n \delta_{Ki} [x_{Ki}, r_{i0}(q_i)] \right\}$.

По аналогии можно построить A_{1K} , A_{2K} и далее до $A_{(m-1)K}$ включительно. Несложный анализ показывает, что полученная совокупность из m автоматов первого порядка образует автомат A_K порядка m и в рассматриваемом случае является диагностической моделью сети S . При этом m -размерные вектор состояний q_K и векторная функция соответствия $r(q)$ определяются как

$$q_K = r(q) = \left\{ \left[\bigoplus_{i=1}^n r_{i(m-1)}(q_i) \right], \dots, \left[\bigoplus_{i=1}^n r_{ij}(q_i) \right], \dots, \left[\bigoplus_{i=1}^n r_{i0}(q_i) \right] \right\}, \quad (5)$$

а векторная функция переходов той же размерности – как

$$\delta_K(x_K, q_K) = \left\{ \bigoplus_{i=1}^n \delta_{Ki} [x_{Ki}, r_{i(m-1)}(q_i)], \dots, \bigoplus_{i=1}^n \delta_{Ki} [x_{Ki}, r_{ij}(q_i)], \dots, \bigoplus_{i=1}^n \delta_{Ki} [x_{Ki}, r_{i0}(q_i)] \right\}. \quad (6)$$

Следует отметить, что порядок A_K не зависит от выбора компонентов $r_{ij}(q_i)$ при построении A_{0K} и последующих автоматов, образующих модель сети. Нужно лишь обеспечить отсутствие во всех выбранных m -ках (их n) одинаковых элементов. Принятый способ выбора упрощает выражения (5) и (6).

Равенство порядков A_K и всех A_{Ki} может служить доказательством минимальности первого при условии минимальности хотя бы одного из вторых.

В общем случае порядки A_{Ki} и размерности $r_i(q_i)$ различны, однако, для построения диагностической модели сети и в этом случае можно использовать соотношения (5) и (6). Для этого достаточно выбрать в качестве m наибольшее из m_i , а векторные функции $r_i(q_i)$ меньшей размерности дополнить до m нулевыми компонентами. После этого упомянутые соотношения определяют искомую диагностическую модель, порядок которой m и минимален при условии минимальности A_{Ki} порядка m .

Список литературы

1. *Hartmanis, J.* The algebraic structure theory of sequential machines. / J. Hartmanis, R. Stearns. – New York: Prentice Hall Incorporation, 1966. – 211 p.
2. *Подкопаев, Б.П.* Алгебраическая теория функционального диагностирования динамических систем. Ч.2 Системные алгебры, алгебраическая модель функционального диагностирования, реализация модели функционального диагностирования. / Б.П. Подкопаев. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. – 132 с.
3. *Супрун, В.П.* Основы теории булевых функций/ В.П. Супрун. – М.: Изд-во «Ленанд/URSS», 2017. – 208 с.

Материал поступил в редколлегию 09.10.18.

И.Ю. Бутарев

(г. Брянск, Брянский государственный технический университет)

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СОСТАВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ

Исследованы непроектные режимы составных преобразователей с использованием параметрического синтеза, когда выбирается определенный набор параметров, обеспечивающих проектный режим, а затем с помощью бифуркационного анализа определяются его границы и вероятность появления нелинейных явлений в ходе работы преобразователя. Описаны двухпараметрические карты составных преобразователей и произведено их сравнение.

Parametric synthesis was used in research of non-project modes. This approach contains two parts. First part is choosing concrete set of parameters, which provides project mode. Second part is using bifurcation analysis to set boundaries of project mode and probability of nonlinear phenomena during the converter operation. Two parametric bifurcation maps presented.

Ключевые слова: нелинейная динамика, преобразователь SEPIC, преобразователь ZETA, преобразователь Кука, бифуркации.

Keywords: nonlinear analysis, SEPIC converter, ZETA converter, cuk converter, bifurcation.

Примером применения составных преобразователей могут быть телекоммуникационные источники питания и мощные зарядные устройства. Составные преобразователи могут быть с однонаправленным [1] и двунаправленным преобразованием энергии [2]. К однонаправленным составным преобразователям относятся связка между трехфазным выпрямителем и преобразователями Кука, SEPIC и ZETA, представленными на рис. 1а, 1б и 1в соответственно.

Был проведен сравнительный анализ карт динамических режимов и диаграмм относительного размаха колебаний трех вариантов составных преобразователей, рассчитанных исходя из необходимости получения одинаковых значений выходных напряжений при работе на одинаковую нагрузку.

Номиналы дросселей и конденсаторов были рассчитаны по стандартным методикам [3–5] при следующем наборе параметров: входное напряжение $E_0=100$ В, мощность нагрузки $P_n=100$ Вт, частота квантования $f_{kv}=50$ кГц, расчетное среднее значение коэффициента заполнения ШИМ $\gamma_{ср}=0,5$, коэффициент пульсаций напряжений конденсаторов $K_{пU}=4\%$, коэффициент пульсаций токов дросселей $K_{пI}=50\%$.

Наиболее полную информацию об особенностях нелинейной динамики системы дают карты динамических режимов, которые показывают разбиение пространства параметров на области существования различных периодических и хаотических режимов. Каждую карту нужно сопроводить диаграммой относительного размаха колебаний, которая показывает опасность той или иной области. Относительный размах колебаний определяется как $\Delta U_{\text{отн}} = \Delta U / \Delta U_{1\text{max}}$, где $\Delta U_{1\text{max}}$ – максимальный размах колебаний в области параметров, соответствующих проектному режиму (1-циклу), ΔU – абсолютный размах колебаний.

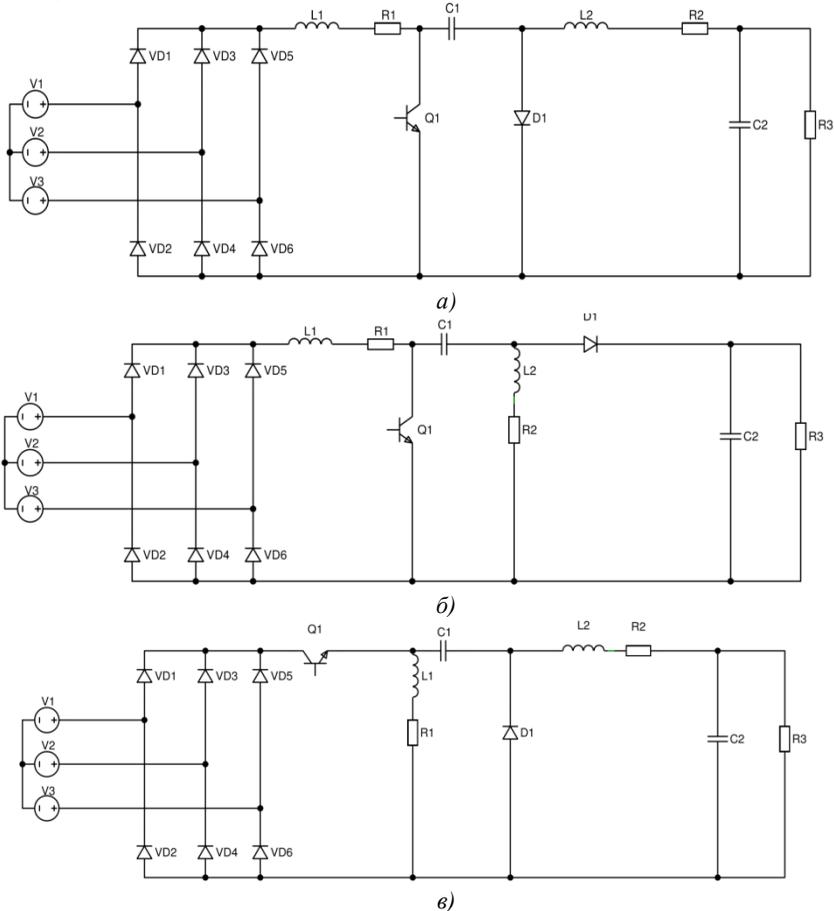


Рис. 1. Составные преобразователи: а – по схеме Кука; б – SEPIC; в – Zeta
Карта динамических режимов SEPIC-преобразователя

Данная карта приведена на рис. 2а. Моделирование проводилось при следующем наборе параметров: $E_0=100$ В; $L_1=0,001$ Гн; $C_1=2,7$ мкФ; $R_1=4$ Ом; $L_2=0,0005$ Гн; $C_2=1,3$ мкФ; $R_2=4$ Ом; $R_{VD\text{off}}=500$ кОм; $R_{\text{п}}=100$ Ом; $\beta=0,02$; $U_{\text{от}}=10$ В; $T=0,00002$ с, максимальное значение коэффициента заполнения $\gamma_{\text{max}}=0,75$.

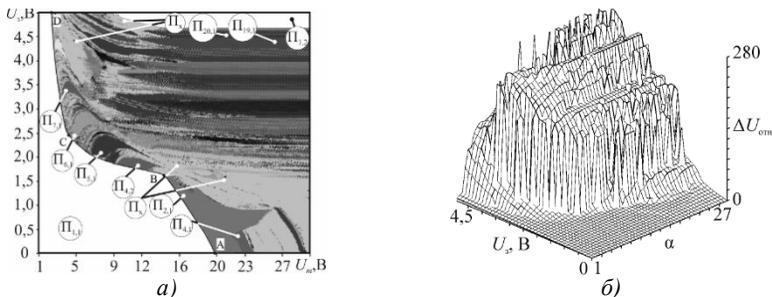


Рис. 2. Двухпараметрические диаграммы для SEPIC:
а – карта динамических режимов;

б – диаграмма относительного размаха колебания выходного напряжения

Из рис. 2 видно, что характерной чертой карты динамических режимов является присутствие области проектного 1-цикла (область $\Pi_{1,1}$), которая сужается с увеличением задающего воздействия U_3 . Первая бифуркационная граница состоит из трех сегментов.

На рис. 3а представлена бифуркационная диаграмма при напряжении управления 0,3 В, соответствующая сегменту АВ.

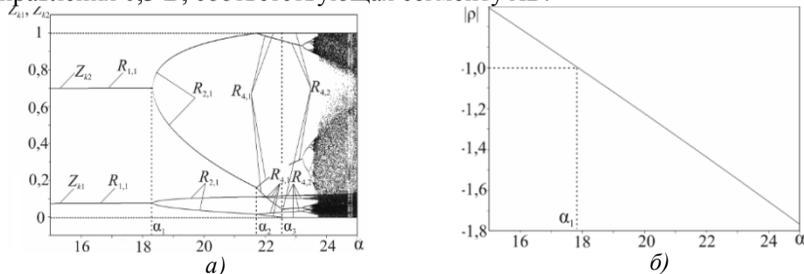


Рис. 3. Карты динамических режимов SEPIC:

а – бифуркационная диаграмма при $U_3=0,3$ В;

б – диаграмма эволюции старшего мультипликатора 1-цикла

На бифуркационной диаграмме символами $R_{i,j}$ отмечены различные динамические режимы (i – m -цикл, j – номер режима на диаграмме). Точка $\alpha_1=18,33$ соответствует суперкритической бифуркации удвоения периода [6]. Это подтверждается рис. 3б, где представлена диаграмма действительной части старшего мультипликатора, которая пересекает «-1» в точке α_1 . После точки α_1 возникает 2-цикл $R_{2,1}$ (область $\Pi_{2,1}$ на рис. 2, а), а 1-цикл $R_{1,1}$ становится седловым. Режим $R_{2,1}$ существует до точки $\alpha_2=21,71$. В точке α_2 момент коммутации z_{k2} становится равным единице (рис. 3, а) и происходит суперкритическая С-бифуркация удвоения периода [7] с возникновением 4-цикла $R_{4,1}$ (область $\Pi_{4,1}$ на рис. 2а). В точке $\alpha_3=22,54$ момент коммутации z_{k1} на одном из тактовых интервалов пересекает нуль и происходит С-бифуркация смены типа решения после которой в системе возникает 4-цикл $R_{4,2}$ другого типа (рис. 3а). При дальнейшем увеличении параметра α наблюдается каскад локальных суперкритических бифуркаций [7] с переходом к хаотическим колебаниям.

Линия BC на карте динамических режимов соответствует суперкритической S -бифуркации Неймарка-Саккера [7]. Пример бифуркационной диаграммы, соответствующей этой границе, представлен на рис. 4. До точки бифуркации $\alpha_1=4,26$ в системе существует 1-цикл $R_{1,1}$. В точке α_1 в системе возникают квазипериодические колебания и интервалы синхронизации на торе [6]. В точке α_2 начинается наиболее выраженный интервал

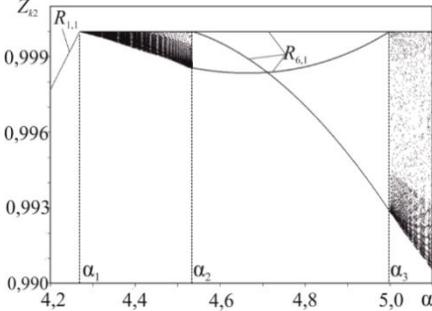


Рис. 4. Бифуркационная диаграмма при $U_3=2,38$ В

интервал синхронизации, соответствующий 6-циклу $R_{6,1}$ (область $\Pi_{6,1}$ на рис. 4а). Границы этого интервала являются точками S -бифуркаций [7]. В точке $\alpha_2=4,53$ при движении вдоль оси α справа налево момент коммутации z_{k2} становится равным единице. Так же и на правой границе интервала (точка $\alpha_3=4,99$), при движении вдоль оси α слева направо момент коммутации z_{k2} на одном из тактовых интервалов пересекает единицу.

Бифуркационная диаграмма, соответствующая участку CD , представлена на рис. 5а. Первая точка бифуркации на данной диаграмме связана предположительно с локальной суперкритической бифуркацией Неймарка-Саккера [7], которая реализуется при пересечении модулей пары комплексно сопряжённых мультипликаторов единицы. Модули двух старших комплексно сопряжённых мультипликаторов 1-цикла представлены на рис. 5б. Интервал синхронизации на торе $[\alpha_2, \alpha_3]$ соответствует 7-циклу $R_{7,1}$ (область $\Pi_{7,1}$ на рис. 2а), а его границы ($\alpha_2=3,44$ и $\alpha_3=3,96$) являются точками S -бифуркаций, аналогично интервалу $[\alpha_2, \alpha_3]$ на рис. 5а.

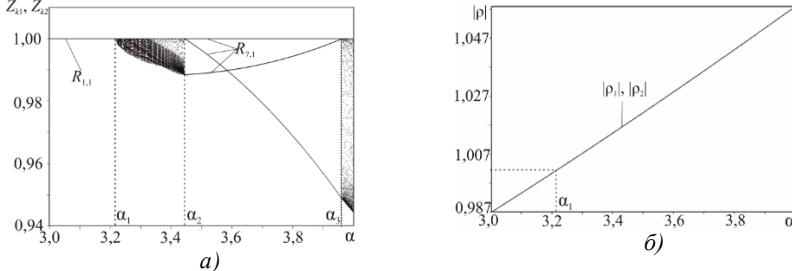


Рис. 5. Карты динамических режимов SEPIC:
а – бифуркационная диаграмма при $U_3=3,3$ В;

б – диаграмма эволюции двух старших мультипликаторов 1-цикла

На протяжении первой бифуркационной границы $ABCD$ происходят мягкие бифуркации, не связанные с существенным ростом амплитуды колебаний, однако рис. 5б показывает, что области $\Pi_{20,1}$, $\Pi_{19,1}$ и ряд других, лежащие недалеко от бифуркационной границы, соответствуют периодическим колебаниям с очень большой амплитудой, что нужно учитывать при выборе коэффициента усиления регулятора. Область $\Pi_{1,2}$,

наблюдающаяся при высоких значениях задающего воздействия U_3 , связана с достижением коэффициентом заполнения своего максимального значения 0,75, т.е. система преходит в режим насыщения.

Карта динамических режимов преобразователя Кука

Моделирование проводилось при следующем наборе параметров: $E_0=100$ В; $L1=0,001$ Гн; $C1=0,68$ мкФ; $R1=4$ Ом; $L2=0,001$ Гн; $C2=0,33$ мкФ; $R2=4$ Ом; $R_{VDoff}=500$ кОм; $R_H=100$ Ом; $\beta=-0,02$; $U_p=10$ В; $a=0,00002$ с, $\gamma_{max}=0,75$.

Из рис. 6а видно, что форма первой бифуркационной границы отлична от SEPIC, но при этом тренд сужения 1-циклового режима от коэффициента α с ростом задающего напряжения аналогичен. Первая бифуркационная граница карты динамических режимов преобразователя Кука разбивается на три сегмента.

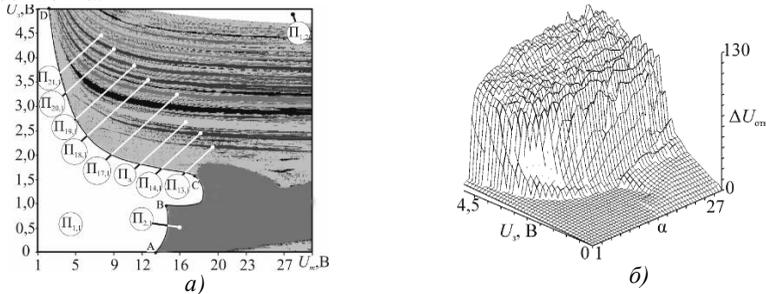


Рис. 6. Двухпараметрические диаграммы для преобразователя Кука:

а – карта динамических режимов;

б – диаграмма относительного размаха колебаний выходного напряжения

На рис. 7а, соответствующему сегменту АВ, в точке бифуркации $\alpha_1=14,61$ происходит локальная суперкритическая бифуркация, после которой возникает 2-цикл $R_{2,1}$, а 1-цикл $R_{1,1}$ становится седловым [6]. В точке $\alpha_2=15,02$ происходит С-бифуркация смены типа решения, которая приводит к возникновению 2-цикла $R_{2,2}$ другого типа.

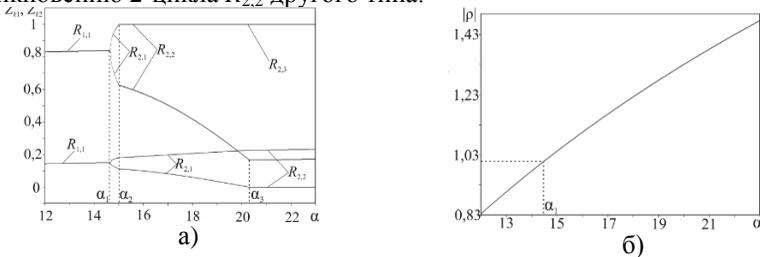


Рис. 7. Диаграммы динамических режимов преобразователя Кука при $U_3=0,5$ В:

а – бифуркационная диаграмма;

б – диаграмма эволюции двух старших мультипликаторов 1-цикла

Данная бифуркация связана с пересечением момента коммутации z_{k2} на одном из двух тактовых интервалов 2-цикла $R_{2,1}$ единицы. В точке $\alpha_3=20,30$ происходит еще одна С-бифуркация смены типа решения, которая связана с достижением момента времени z_{k1} на одном из двух тактовых интервалов нуля. В результате этого возникает 2-цикл $R_{2,3}$.

Бифуркационная диаграмма сегмента BC представлена на рис. 8а. В точке $\alpha_1=18,56$ происходит локальная седло-узловая бифуркация. На рис. 8б видно, что в точке бифуркации мультипликаторы режимов $R_{2,1}$ и $R_{2,2}$ пересекают единицу, т.е. в данной точке происходит слияние устойчивого ($R_{2,2}$) и неустойчивого ($R_{2,1}$) 2-циклов.

В точке $\alpha_2=18,79$ происходит локальная суперкритическая бифуркация, когда в точке бифуркации возникает 2-цикл $R_{2,3}$, а 1-цикл $R_{1,1}$ становится седловым. В точке $\alpha_3=18,85$ 2-цикл $R_{2,3}$ сливается с неустойчивым 2-циклом $R_{2,1}$, и они оба исчезают в результате субкритической С-бифуркации.

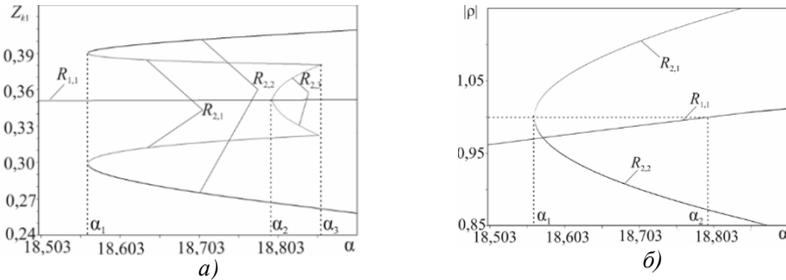


Рис. 8. К пояснению карты динамических режимов преобразователя Кука при $U_3=1,2$ В: а – бифуркационная диаграмма; б – диаграмма эволюции двух старших мультипликаторов 1-цикла

На рис. 9а изображена бифуркационная диаграмма, соответствующая сегменту CD первой бифуркационной границы. В точке α_2 происходит предположительно локальная субкритическая бифуркация Неймарка-Саккера [6]. На рис. 9б представлены модули двух комплексно-сопряженных старших мультипликаторов 1-цикла $R_{1,1}$. После точки бифуркации α_1 на диаграмме можно наблюдать многочисленные области синхронизации на торе. При задающих воздействиях более 2 В на карте динамических режимов наблюдаются области синхронизации на торе ($\Pi_{13,1}$, $\Pi_{14,1}$, $\Pi_{17,1}$, $\Pi_{18,1}$, $\Pi_{20,1}$, $\Pi_{21,1}$ на рис. 6а). Амплитуда колебаний в этих режимах достаточно высока (рис. 6б), но в то же время существенно меньше, чем в SEPIC.

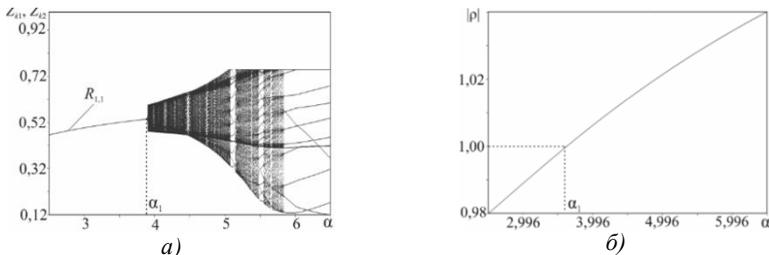


Рис.9. К пояснению карты динамических режимов преобразователя Кука при $U_3=3,5$ В: а – бифуркационная диаграмма; б – диаграмма эволюции двух старших мультипликаторов 1-цикла

Карта динамических режимов ZETA-преобразователя

Данная карта представлена на рис. 10а. Моделирование проводилось при следующем наборе параметров: $E_0=100$ В; $L_1=0,001$ Гн; $C_1=1,3$ мкФ; $R_1=4$ Ом; $L_2=0,001$ Гн; $C_2=0,16$ мкФ; $R_2=4$ Ом; $R_{V,off}=500$ кОм; $R_H=100$ Ом; $\beta=0,02$; $U_p=10$ В; $T=0,00002$ с, $\gamma_{max}=0,75$.

Как видно из рис. 10а, форма первой бифуркационной границы отлична от SEPIC и Кука, но при этом тренд сужения 1-циклового режима от коэффициента α с ростом задающего напряжения аналогичен. Граница разбивается на два сегмента, каждый из которых, как и ранее, соответствует своему типу бифуркационного перехода.

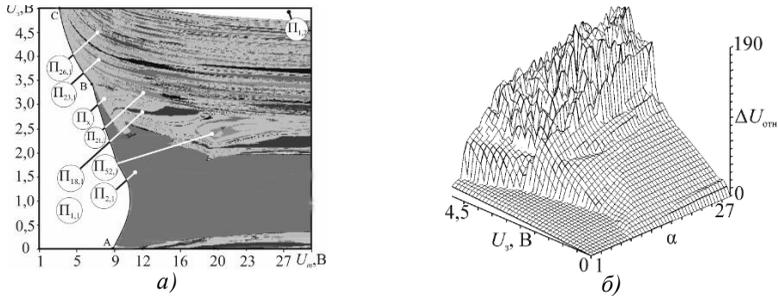


Рис. 10. Двухпараметрические диаграммы для ZETA: а – карта динамических режимов; б – диаграмма относительного размаха колебаний выходного напряжения

На рис. 11а соответствующему сегменту АВ, первые две бифуркации в точках $\alpha_1=8,9$ и $\alpha_2=9,82$ аналогичны бифуркациям в преобразователе Кука (рис. 7а). В точке $\alpha_3=18,56$ возникает двухоборотный тор [6], после чего наблюдаются многочисленные интервалы синхронизации малого размера, чередующиеся с областями квазипериодических колебаний. На рис. 11б представлена диаграмма мультипликаторов 2-цикла $R_{2,2}$. В точке α_3 модули двух старших мультипликаторов пересекают единицу.

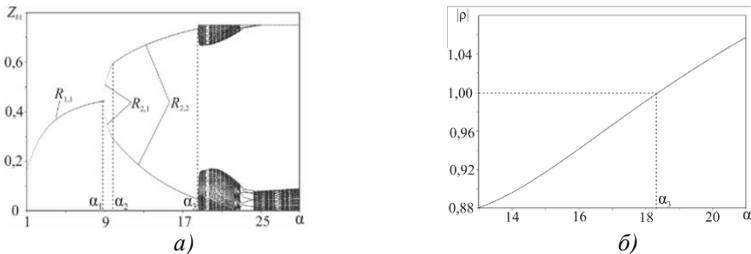


Рис. 11. Бифуркационная диаграмма ZETA при $U_3=2$ В: а – бифуркационная диаграмма; б – диаграмма эволюции двух старших мультипликаторов 1-цикла

На рис. 12 представлена бифуркационная диаграмма, соответствующая сегменту ВС. Первая точка бифуркации α_1 обусловлена субкритической бифуркацией Неймарка-Саккера. Данная бифуркация является жесткой. В точке α_2 коэффициент заполнения ШИМ-модулятора достигает значения

0,75, и происходит насыщение

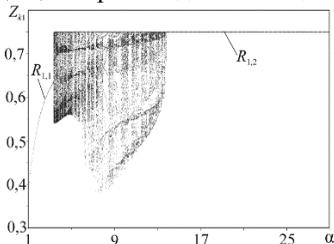


Рис. 12. Бифуркационная диаграмма ZETA при $U_3=5$ В

системы, сопровождающееся 1-циклом $R_{1,2}$. Как и в рассмотренных ранее преобразователях, при задающем воздействии больше 2 В в системе на карте динамических режимов присутствуют многочисленные области синхронизации на торе с большой амплитудой колебаний выходного напряжения ($\Pi_{26,1}$, $\Pi_{23,1}$, $\Pi_{21,1}$, $\Pi_{52,1}$ на рис. 10а).

Выводы

Выполненный анализ показал:

1. Наибольшая площадь области желаемого 1-цикла обеспечивается в преобразователе SEPIC, а наименьшая – в преобразователе ZETA.

2. Особенностью составных преобразователей является сужение области 1-цикла с увеличением задающего воздействия.

3. При больших значениях задающего воздействия и коэффициента усиления регулятора α наблюдаются динамические режимы с большой амплитудой колебаний, которые могут быть отнесены к опасным.

4. Наиболее оптимальным составным импульсным преобразователем постоянного напряжения с точки зрения нелинейной динамики является преобразователь Кука, который имеет приемлемую площадь желаемого 1-цикла и минимальную амплитуду колебаний в области нежелательных режимов.

Список литературы

1. *D. C. Martins, A. H. D. Oliveira, and I. Barbi*. “Three-phase rectifier using a SEPIC DC-DC converter in continuous conduction mode for power factor correction,” in Proc. IEEE INTELEC’98, 1998, pp. 491–497.

2. *J. B. Ejea, E. S. Kilders, J. A. Carrasco, R. D. L. Calle, and J. M. Espi*. “High-frequency bi-directional three-phase rectifier with power factor correction,” in Proc. IEEE PESC’01, 2001, pp. 1303–1308.

3. *Falin, J. T.* Design DC/DC converters based on SEPIC topology/ J.Falin // Analog Application Journal. 2008, Q4. P.18–23.

4. *Falin, J. T.* Design DC/DC converters based on ZETA topology/ J.Falin // Analog Application Journal. 2010, Q2. P.16–21.

5. *Четти, П.* Проектирование ключевых источников электропитания: [пер. с англ.] / П. Четти – М.: Энергоатомиздат, 1990. – С. 62–66.

6. *Анищенко, В.С.* Нелинейная динамика хаотических и стохастических систем: Фундаментальные основы и избранные проблемы / В.С. Анищенко, Т.Е. Вадивасова, В.В. Астахов. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1999. – 368 с.

7. *Жусубалиев, Ж.Т.* Бифуркации и хаос в релейных и широтно-импульсных системах автоматического управления / Ж.Т. Жусубалиев, Ю.В. Колоколов – М.: Машиностроение-1, 2001. – 120 с.

Материал поступил в редколлегию 21.10.18.

А.С. Веремчук, В.С. Панищев
(г. Курск, Юго-Западный государственный университет)

МЕТОДИКА РЕАЛИЗАЦИИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭМУЛЯТОРА

Приведена методика реализации универсального эмулятора.

This thesis presents the method of implementation of the universal emulator.

Ключевые слова: универсальный эмулятор, процессор, команды вызова, программное обеспечение.

Keywords: universal emulator, processor, call commands, software.

Встроенные системы широко используются в различных системах обработки и передачи данных. Данные системы имеют множество функций, которые могут быть не заявлены производителем. Одним из способов выявления недокументированных функций является анализ программного кода (ПК).

В [1] представлен метод эмуляции выполнения дизассемблированного программного кода, с использованием ПО IDA Pro, который позволяет снизить трудоемкость, повысить эффективность анализа дизассемблированного программного обеспечения.

Алгоритм эмуляции выполнения инструкции выглядит следующим образом:

1. Чтение кода операции (КОП).
2. Получение операндов (значений регистров, ячеек памяти и пр.).
3. Вычисление инструкции.
4. Вычисление флагов при необходимости.

Структура эмулятора

В основе эмулятора [1] лежит универсальный вычислитель, который производит все арифметические и логические вычисления, а также производит взятие значения по указанному адресу. Вычислитель получает данные от блоков-регистров, ОЗУ и ПЗУ процессора. Для работы эмулятора необходим блок мнемонических конструкций команд, поставляющий вычислителю выражения для проведения арифметических и логических операций.

С целью практической реализации универсального эмулятора проведена детализация структурной схемы (рис. 1).

В центре схемы расположен универсальный вычислитель – вычислительный блок эмулятора. Как было упомянуто, с помощью этого блока производятся все вычислительные операции:

расчёт выражений, представляющих мнемонические конструкции для команд процессора;

расчёт условий и адресов переходов команд, выражений списка наблюдений;

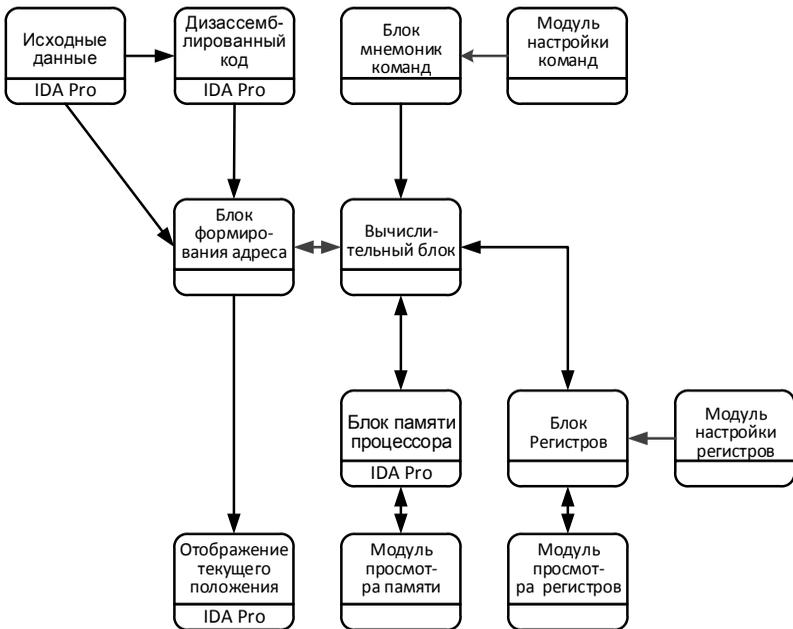


Рис.1. Структурная схема универсального эмулятора

Поскольку каждое семейство микропроцессоров имеет собственный набор команд, часто включающий специфические для данного семейства процессоров функции, возникает необходимость в создании универсального описателя, который позволял бы с помощью стандартного набора операций воспроизводить любую функцию (функции), выполняемую конкретной командой процессора.

Для этого необходим блок-мнемоник команд, в котором для каждой команды процессора хранятся описанные на формализованном языке, мнемоники выполняемых командой операций.

Блок настройки мнемоник позволяет пользователю создавать и изменять мнемонические конструкции для каждой команды процессора.

Блок формирования адреса команды анализирует исходящие ссылки текущей команды, а в случае команд вызова и перехода производит проверку условий перехода и вычисление адреса перехода.

Блок регистров процессора содержит список регистров, разделённых по группам, в пределах которых они имеют одинаковые свойства разрядности, функционального назначения.

Модуль настройки регистров процессора служит для создания и настройки пользователем списка регистров эмулятора, выбирая их из списка регистров, предоставляемого процессорным модулем. Предусмотрена возможность дополнять список регистров эмулятора новыми регистрами, в случае их отсутствия. Предоставляет возможность задавать названия отдельным битам в пределах регистра, а также группам бит (произвольному числу бит, идущих подряд) в пределах одного регистра.

Модуль просмотра и редактирования содержимого регистров позволяет пользователю контролировать и изменять значения отдельных регистров во время работы отладчика эмулятора.

Модуль просмотра ячеек памяти служит для контроля пользователем значений отдельных байт памяти во время работы отладчика эмулятора.

Блок памяти процессора эмулирует ОЗУ и ПЗУ устройства. В роли этого блока выступает ядро IDA Pro.

Универсальный эмулятор, построенный по приведённой схеме, реализован в виде подключаемого к дизассемблеру IDA Pro модуля на языке C++.

Список литературы

1. Designing an object-oriented decompiler – Department of Software Engineering and Computer Science Blekinge Institute of Technology // D. Eriksson. –2002. –P.23.

Материал поступил в редколлегию 14.10.18.

УДК. 004.942 , 004.896, 519.63

DOI: 10.30987/conferencearticle_5c19e6a0ba03e2.48318163

И.Л. Доненко, А.В. Доненко, В.А. Лукьяненко
(г. Симферополь, Крымский федеральный университет
им. В.И. Вернадского)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ В ФРАКТАЛЬНОМ ОТОБРАЖЕНИИ ПОЛЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СВОБОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Рассмотрена эволюция фрактальной дифракционной картины с математической точки зрения. Решая нелинейные параболические уравнения для фрактальных отображений, появилась возможность моделировать эволюцию дифракционных картин.

Modern fractal theory is experiencing rapid growth with the development of mathematical and computer modeling. Solving the non-linear parabolic equations for fractal mappings, it was possible to model the evolution of diffraction patterns.

Ключевые слова: фрактальная картина, нелинейные параболические уравнения, математика, математическое моделирование, фрактал, оптика

Keywords: fractal picture, nonlinear parabolic equations, mathematics, mathematical modeling, fractal, optics

В последние годы решение таких нелинейных параболических уравнений, разрушающихся за конечное или бесконечное время (см. эволюцию треугольника Серпинского или ковра Серпинского [1]), т.е. режимы с обострением, стали активно изучаться – это и не могло оставить нас в стороне, авторы решили рассмотреть с математической точки зрения

эволюцию фрактальной дифракционной картины, полученную в ходе эксперимента на кафедре общей физики физико-технического института, КФУ им. В.И. Вернадского [1].

Однако большинство публикаций в этой области посвящено решениям, растущим до бесконечности в равномерной норме, а не рассматриваются динамические системы, приводящие к хаосу и саморазрушению системы.

Данный эксперимент по исследованию дифракции на фракталах посвящен дифракции Фраунгофера, т.е. случаю, когда распределение интенсивности за объектом представляет собой не что иное, как оптическое преобразование Фурье, достаточно просто реализуемое с помощью вычислительного алгоритма. Исследования, связанные с дифракцией Фраунгофера от регулярных фрактальных объектов, изложены в [2].

В работе [2] были рассмотрены теоретические и экспериментальные аспекты оптической дифракции Фраунгофера от фрактальных объектов типа ковер Серпинского, треугольник Серпинского. Дифракционная картина Фраунгофера, возникающая в плоскости наблюдения, является результатом оптического преобразования Фурье решетки с фрактальным узором. Пусть решетка освещается сферической волной, падающей на экран, тогда амплитуда распространяющейся волны перед решеткой

$$A(x, y) = A_0 \exp \left[\frac{i\pi}{\lambda d} (x^2 + y^2) \right]. \quad (1)$$

Экспериментально полученные на основе математической модели фрактальные дифракционные решетки приведены на рис. 1.

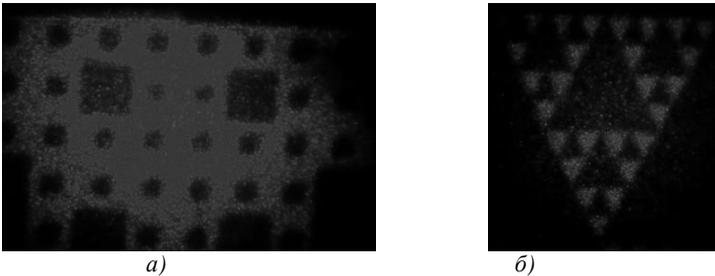


Рис. 1. Фрактальная дифракционная картина : а – для ковра Серпинского; б – для треугольника Серпинского

Данные экспериментально полученные фрактальные дифракционные решетки являются спекл - картинами в ближней зоне генерации фрактала на линзе Френеля. Ход данного эксперимента показал, что воссоздать фрактальную структуру можно в каждый определенный момент времени.

Список литературы

1. Белан, Е.П. Динамика стационарных структур в параболической задаче на окружности с отражением пространственной переменной / Е.П. Белан, Ю.А. Хазова // Динамические системы. – 2014. – Т.4(32), № 1-2. – С. 43
2. Доненко, И.Л. Фрактальное отображение полей многомодовых оптических волокон. – М.: Симферополь, КФУ им. В.И. Вернадского, 2017. – С. 57-58.
3. Лукьяненко, В.А. Нелинейные параболические уравнения и их приложения/ В.А. Лукьяненко, А.В. Доненко. – Симферополь, КФУ им. В.И. Вернадского, 2017. –С. 1-2.

Материал поступил в редколлегию 17.09.18.

А.П. Корнеев, Т.С. Ларькина
(г. Могилев, Белорусско-Российский университет)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Сформированы требования к системе измерения для получения точности измерений. Представлены результаты экспериментального исследования системы с распределенными параметрами в частотной и во временной области.

Formed requirements for the measurement system for obtaining precision measurements. The results of an experimental study of a system with distributed parameters in the frequency and time domains are presented.

Ключевые слова: система с распределенными параметрами, резонанс, экспериментальное исследование, переходный процесс, гиперболическая тригонометрическая функция.

Keywords: distributed parameters system, resonance, experimental research, transient process, hyperbolic trigonometric function.

Многочисленные объекты различных областей техники представляют собой системы с распределенными параметрами (СРП). К ним относятся длинные линии электропередач, трубопроводы для перекачки воды и нефти, объекты, включающие длинные стержни, например в бурении – колонна труб, в глубинно-насосных установках – штанга, в грузоподъемных механизмах – трос и канат и т. д. [1].

Для проектирования, эксплуатации и наладки систем и установок с СРП необходимы экспериментальные исследования. В экспериментальном исследовании СРП выделим исследования в частотной и во временной области.

Экспериментальное исследование СРП в частотной области

Для исследования электромеханических характеристик СРП экспериментальный стенд снабжен комплектом измерительных устройств. Система измерения обеспечивает измерение и сохранение данных:

- напряжений в диапазоне от -400В до +400В с точностью не менее 0,1%;
- тока якоря двигателя в диапазоне от -10А до +10А с точностью не менее 0,1%;
- напряжения, снимаемого с тахогенератора в диапазоне от 0В до +2,5В.

Для упрощения дальнейшей обработки полученной информации существует связь системы измерения с персональным компьютером и возможность сохранения получаемых данных.

Для получения заданной точности измерения в цифровой системе сбора данных необходимо наличие в ней аналогово-цифровых преобразователей с количеством цифровых разрядов не менее 10.

Частота дискретизации в соответствии с дискретной теоремой Найквиста должна быть не менее чем в два раза больше частоты самого быстро изменяющегося сигнала (отношение частоты дискретизации к частоте среза системы для возможности воспроизведения сигнала должно быть не менее двух) [2]. Так как частота питающего напряжения, а соответственно и тока равна 50Гц, частота дискретизации должна быть не менее 100Гц.

Для получения информации о токе двигателя используется программно-аппаратный комплекс. Аппаратная часть представлена сенсорным модулем, который может использоваться для измерения высоковольтных аналоговых сигналов, а также для мониторинга процессов в силовых электрических цепях. Устройство имеет четыре гальванически развязанных аналоговых входа для измерения высоковольтного напряжения (диапазон входных напряжений от +600 В до -600 В), а также один аналоговый вход для измерения низковольтных напряжений, снимаемых с шунта (диапазон входных напряжений на измерительном шунте от +150 мВ до -150 мВ). Разрядность аналогово-цифровых преобразователей по всем каналам равна 12. Элементом, ведущим обработку информации в составе модуля, является микроконтроллер Fujitsu MB90F543. Для разработки управляющих программ используется среда программирования Softune Workbench for FR-microcontroller. Программирование контроллера осуществляется при помощи комплекта программ StrimShell - StrimServer ОДО «СТРИМ». Разработанная управляющая программа позволяет производить измерения по четырем каналам напряжения с частотой до 4 кГц. Данные преобразования формируются CAN-фреймом, которые впоследствии передаются по CAN-шине. Далее они преобразуются CAN-USB конвертером и перенаправляются в персональный компьютер, где впоследствии может производиться их дальнейшая обработка.

Программная часть комплекса основана на комплекте программ StrimServer и CANMonitor, позволяющих фиксировать и сохранять информацию, полученную от сенсорного модуля в режиме реального времени.

Исследования проводились согласно полученным теоретическим результатам [3, 4]. Данные, полученные в ходе экспериментального исследования, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Экспериментальные значения ЛАЧ СРП

Частота круговая, рад/с	0,1	0,3	0,5	0,6	0,65	0,7
Коэффициент усиления, dB	1	-6,1	-3,8	6,3	11,1	-1,5
Частота круговая, рад/с	0,8	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5
Коэффициент усиления, dB	-10,6	-18,4	-18,7	10,5	-26,5	-38,3
Частота круговая, рад/с	1,6	1,7	1,8	1,85	1,9	2,0
Коэффициент усиления, dB	-48,5	-60,5	-82,7	-156,6	-81,2	-63,6

На рис. 1 представлены теоретические (тонкой линией) и экспериментальная (толстой линией) ЛАЧХ СРП.

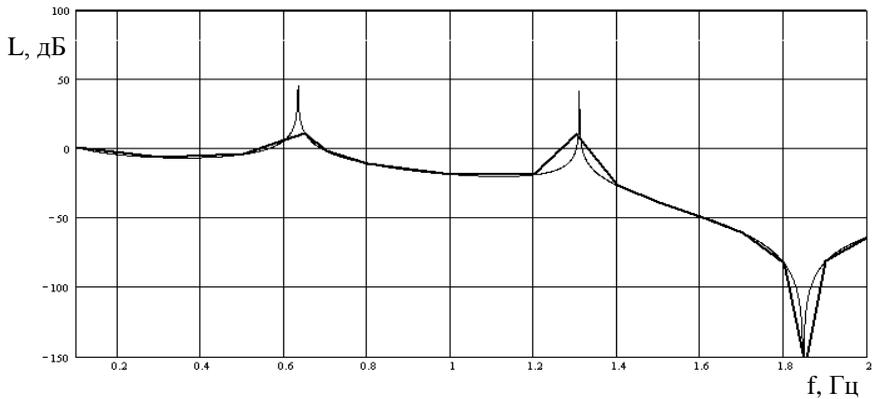


Рис. 1. Теоретическая и экспериментальная ЛАЧХ СРП

Как видно из графиков, полученные экспериментальные значения соответствуют теоретическим расчетам. Максимальная относительная погрешность не превысила 10%.

Экспериментальное исследование СРП во временной области

Экспериментальные исследования проводились согласно теоретическим исследованиям [3, 4].

В результате эксперимента получены следующие графики переходных процессов тока двигателя. Общий вид переходных процессов в СРП рассмотрен в [5]. При частоте $f=1,5$ Гц, которая меньше резонансной частоты СРП, получен график тока двигателя постоянного тока, представленный на рис. 2.

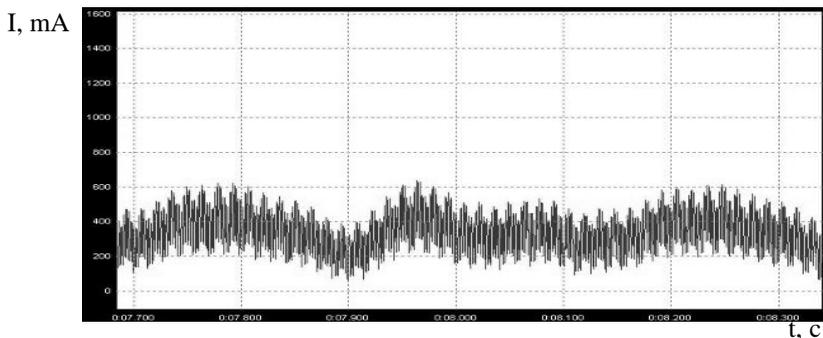


Рис. 2. Ток двигателя при частоте меньше резонансной частоты

При частоте $f=1,8$ Гц, равной резонансной частоте СРП, получен график тока двигателя постоянного тока, который представлен на рис. 3.

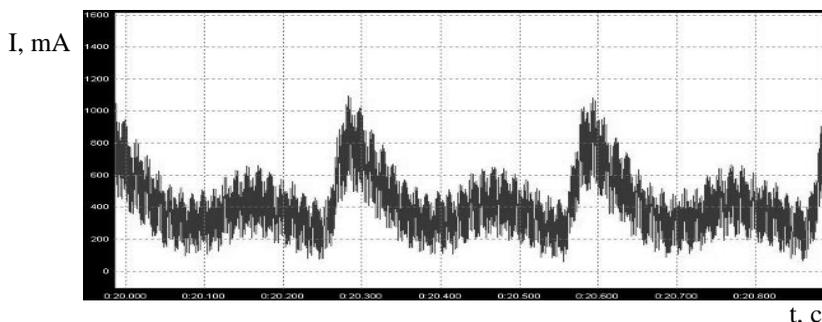


Рис. 3. Ток двигателя при частоте, равной резонансной частоте

Выводы

1 Проведены экспериментальные исследования системы с распределенными параметрами в частотной и временной области, которые подтверждают теоретические расчеты.

2 Амплитуда графика тока при резонансной частоте увеличивается примерно в 2 раза, как и должно быть при резонансной частоте.

Список литературы

1. *Рассудов, Л.Н.* Электроприводы с распределёнными параметрами электромеханических элементов/ Л.Н. Рассудов, В.Н. Мядзель. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1987.– 144 с.

2. *Бесекецкий, В.А.* Теория систем автоматического регулирования./ В.А. Бесекецкий, Е. П. Попов. – М.: Наука, 1972.– 450 с.

3. *Корнеев, А.П.* Синтез системы управления электропривода электромеханической системы с распределенными параметрами/ А.П. Корнеев, Г.С. Ленеvский // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Тез. междунар. науч.-техн. конф. молодых учёных, Могилев, 2015. // Бел.-рос. ун-т. – Могилев, 2015. – С. 156.

4. *Корнеев, А.П.* Новый способ аппроксимации механической части нестационарной электромеханической системы с распределенными параметрами/ А.П. Корнеев, Н.А. Стражников, С.И. Шумский, Г.С. Ленеvский // Информационные технологии, энергетика и экономика: материалы докладов XIII Межрегиональной науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: в 4 т., Смоленск. 14-15 апреля 2016 г. // Филиал «МЭИ (ТУ)». – Смоленск, 2016. – Т.1. – С. 289–293.

5. *Karneyev, A.P.*, Development of a stand for research of systems with the distributed parameters / A.P. Karneyev, G.S. Lenevsky // Journal of the Technical University of Gabrovo – 2011. – Vol. 41. – P.32-35.

Материал поступил в редколлегию 01.10.18.

А.П. Корнеев, Г.С. Ленеvский
(г. Могилев, Белорусско-Российский университет)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ В MATLAB

Представлен способ моделирования систем с распределенными параметрами, который основан на аппроксимации при разложении на произведения. Для моделирования использован способ замены непосредственных вычислений резонансных частот интерполяцией значений, рассчитанных в некоторых промежуточных точках сплайн методом. Разработаны модели в MATLAB в Simulink с применением элементов библиотеки Power System Blockset. Получены графики тока при частотах меньше и равной первой резонансной частоты.

A method for modeling systems with distributed parameters is presented, which is based on approximation in decomposition into products. For modeling, the method of replacing direct calculations of resonance frequencies by interpolation of values calculated at some intermediate points by the spline method is used. Models are developed in MATLAB in Simulink using elements of the Power System Blockset library. The current curves are obtained at frequencies less than and equal to the first resonant frequency.

Ключевые слова: моделирование, система с распределенными параметрами, резонанс, аппроксимация, гиперболическая тригонометрическая функции.

Keywords: modeling, systems with distributed parameters, resonance, approximation, hyperbolic trigonometric function.

Моделирование систем с распределенными параметрами (СРП) в общем виде во временной области затруднительно, так как передаточная функция СРП содержит гиперболические функции, а существующие математические программы используют численный расчет. Эта проблема решается при аппроксимации передаточной функции любым известным способом. Но при работе установок постоянно меняются собственные резонансные частоты. Вследствие этого необходимо постоянно рассчитывать не только резонансные частоты, но и выполнять другие вспомогательные вычисления в зависимости от метода аппроксимации, например вычеты. Расчет на каждом шаге моделирования приведет к резкому увеличению мощности ПК при увеличении времени моделирования [1].

Для решения этой проблемы разработан способ аппроксимации СРП при разложении на произведения ($p^2 + \omega^2$), подробно описанный в [2]. При такой

аппроксимации не требуются дополнительные вспомогательные вычисления, что значительно упрощает и ускоряет процесс моделирования СРП. Для еще большего упрощения и ускорения процесс моделирования СРП использован способ замены непосредственных вычислений резонансных частот интерполяцией значений, рассчитанных в некоторых промежуточных точках. Метод интерполяции – сплайном. Данный метод является достаточно простым и точным для инженерных расчетов.

Для выполнения этих вычислений разработаны модели вычислителя резонансных частот. Теоретическое обоснование вычислителя представлено в [3]. Модель вычислителя представлена на рис. 1.

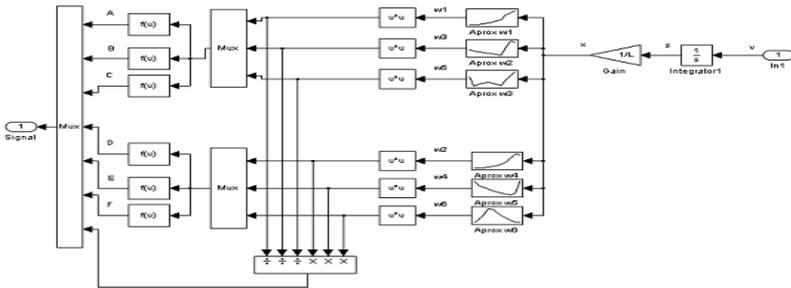


Рис. 1. Модель вычислителя резонансных частот

Разработанная математическая модель электромеханической системы с распределенными параметрами представлена на рисунке 2. Математическая модель построена в MATLAB/Simulink с применением элементов библиотеки Power System Blockset.

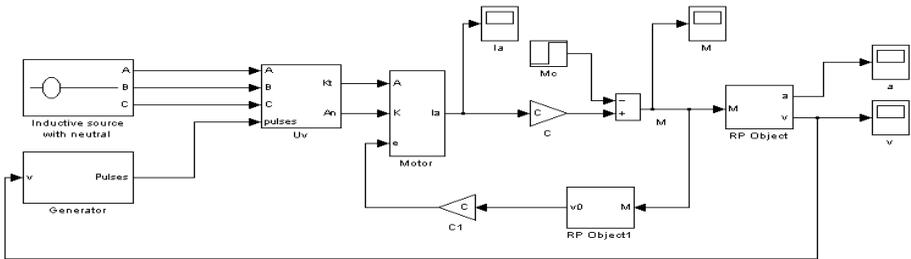


Рис. 2. Модель системы с распределенными параметрами

Полученная модель может применяться для расчета и исследования как частотных, так и энергетических характеристик.

На рис. 3 представлена модель тиристорного преобразователя, реализованная при помощи моделей тиристоров для получения данных о мгновенных значениях напряжения и тока для каждого тиристора и всего преобразователя.

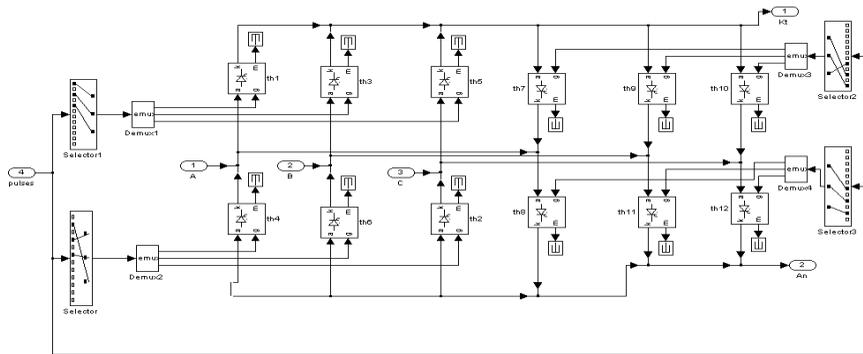


Рис. 3. Модель тиристорного преобразователя

Математическое моделирование электромеханической системы с распределенными параметрами в среде MATLAB/Simulink проводится для экспериментального стенда, параметры которого представлены далее.

$P2_{nom}=850$	$w_{nom}=230$	$M_{cnom}=P2_{nom}/w_{nom}$
$R_a=2.7$	$c=(U_a-I_a \cdot R_a)/w_{nom}$	$t=1$
$T_a=0.012$	$J=0.011$	$r=5$
$I_a=9.6$	$k_{tp}=11$	$l=15$
$U_a=110$	$T_{tp}=0.01$	

В результате моделирования получены графики тока при частотах меньше и равной первой резонансной частоты [4] (рис. 4 и 5).

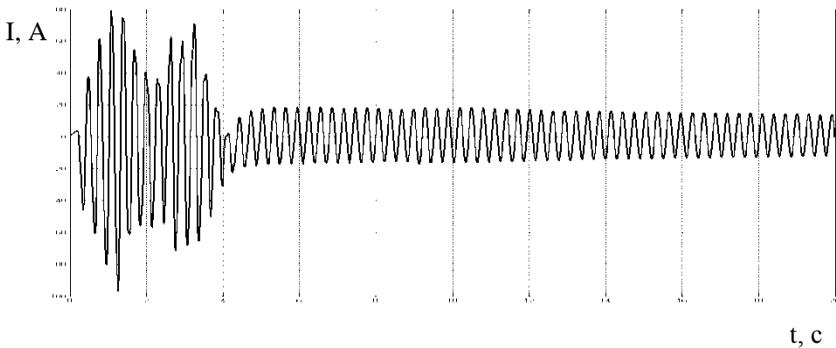


Рис. 4. График тока при частоте, меньше резонансной частоты

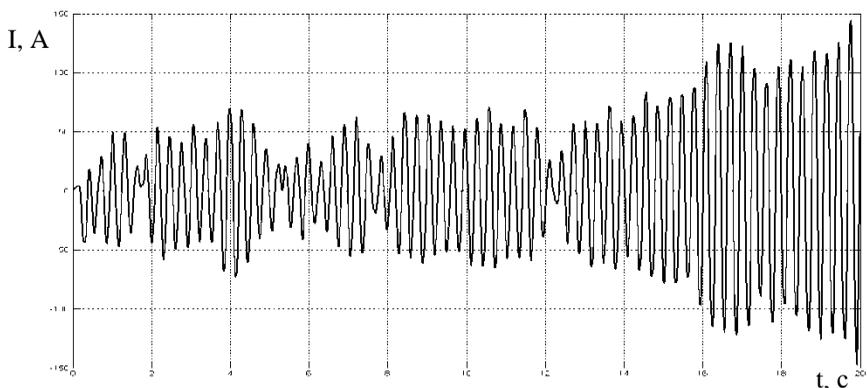


Рис. 5. График тока при частоте, равной резонансной частоте

Выводы

1. Разработана математическая модель электромеханической системы с распределенными параметрами в среде MATLAB для проверки теоретических расчетов.

2. Выполнено математическое моделирование электромеханической системы с распределенными параметрами в среде MATLAB, которое подтверждает теоретические расчеты.

3. Амплитуда графика тока при резонансной частоте увеличивается примерно в 8 раз за 20 секунд, как и должно быть при резонансной частоте.

Список литературы

1. Корнеев, А.П. Применение пакета MATLAB для исследования частотных характеристик в объектах с распределенными параметрами/ А.П. Корнеев, Г.С. Ленеvский // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого.– 2005.– №3.– С. 55-59.

2. Корнеев, А.П. Новый способ аппроксимации механической части нестационарной электромеханической системы с распределенными параметрами // Наука настоящего и будущего: сборник материалов конференции V научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург. 17-18 марта 2017 г. / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – СПб., 2017. – С. 168–170.

3. Толочко, О.И. Анализ та синтез электромеханічних систем зі спостережачами стану/ О.И. Толочко. – Донецк: Норд-Пресс, 2004. – 298 с.

4. Karneyev, A.P. Development of a stand for research of systems with the distributed parameters /A.P. Karneyev, G.S. Lenevsky // Journal of the Technical University of Gabrovo. –2011. –Vol. 41.–P.32-35.

Материал поступил в редколлегию 01.10.18.

В.П. Крылов, А.М. Богачев, Т.Ю. Пронин, А.А. Мищенко
(г. Владимир, Владимирский государственный университет
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых)

МУЛЬТИСКАНОВАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РЕЛАКСАЦИИ ЕМКОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ БАРЬЕРНЫХ СТРУКТУР

Обсуждаются возможности одновременного использования нескольких частотных сканов для параметрической идентификации моделей процессов релаксации емкости барьерной полупроводниковой структуры.

The possibilities of simultaneous use of several frequency scans for parametric identification of models of capacitance relaxation processes of a barrier semiconductor structure are discussed.

Ключевые слова: релаксационная спектроскопия глубоких уровней (РСГУ), частотное сканирование, мультискан.

Keywords: deep-level transient spectroscopy (DLTS), frequency scan, multiskan.

Известные проблемы неоднозначной интерпретации экспериментальных результатов в релаксационной спектроскопии глубоких уровней (РСГУ, DLTS - Deep Level Transient Spectroscopy) сдерживают широкое внедрение методов РСГУ в практику контроля качества и надежности полупроводниковых изделий. Сложившаяся ситуация, по мнению авторов, во многом обусловлена низкой точностью косвенных измерений, что, в свою очередь, не позволяет реализовать статистическую процедуру опровержения той или иной модели с помощью эксперимента, опираясь на пороговое значение невязки (среднеквадратичного отклонения экспериментальных результатов от теоретического предсказания).

Комплексное моделирование физических процессов и аппаратных преобразований в релаксационной спектроскопии глубоких уровней (ГУ) позволяет расширить состав идентифицируемых параметров областей полупроводниковой структуры [1]. Структура комплексных моделей обычно базируется на известном преобразовании Лапласа [2] с учетом эквивалентной опорной функции коррелятора в случае слабых сигналов релаксации на фоне инструментальных шумов [3] в предположении аддитивного характера взаимодействия шумов и информативного сигнала.

Параметрическая идентификация моделей сводится к решению обратных некорректных задач путем минимизации среднеквадратичной невязки и использованием типовых приемов обеспечения устойчивости и сходимости решения. Наиболее эффективным средством минимизации

невязки является сочетание ненаправленного случайного поиска с покоординатным спуском по каждому параметру модели.

Широко распространенное в экспериментальных установках РСГУ температурно-частотное сканирование образца (медленное непрерывное повышение температуры от нижней границы к верхней на фоне дискретных значений частоты следования импульсов заполнения глубоких уровней) не способствует повышению точности определения параметров ГУ вследствие зависимости большинства параметров от температуры. Дополнительные трудности обусловлены точностью измерения меняющейся температуры и ограниченным набором указанных частот (так называемых временных окон).

Иная ситуация возникает при переходе на частотно-температурное сканирование, при котором практически неограниченное количество временных окон можно наблюдать при постоянной температуре образца. Процесс параметрической идентификации моделей в этом случае не осложняется неизвестными зависимостями параметров от температуры, и таким образом формируются объективные предпосылки повышения точности измерений параметров ГУ. Однако при этом появляются новые проблемы комплексного моделирования [1], иллюстрируя известный закон перехода количественных изменений в качественные.

Частотным сканом в релаксационной спектроскопии глубоких уровней [1,3] называется зависимость выходного сигнала коррелятора (селектора релаксационных сигналов) от частоты следования импульсов электрического заполнения ГУ. В качестве дополнительных параметров используются напряжения заполнения и опустошения ГУ, температура образца, длительность импульса заполнения. На рис. 1 представлены основные стадии решения обратной задачи параметрической идентификации так называемой однопиковой модели, описывающей один дискретный ГУ диода КД-521.

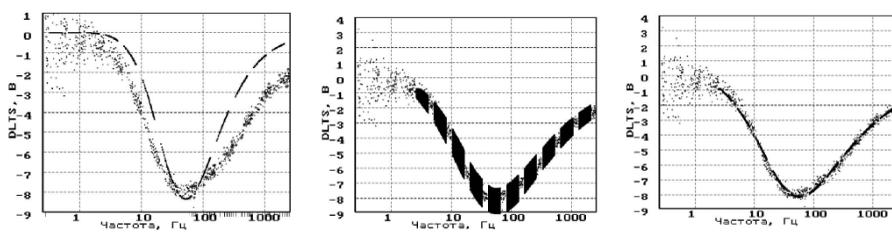


Рис. 1. Стадии моноскановой идентификации модели

Левый график отражает результаты параметрической идентификации двухпараметрической модели частотного скана (амплитуда и постоянная времени релаксационного сигнала). Нетрудно заметить, что идеальная экспонента (штриховая линия) не очень хорошо отражает эксперимент (точки). Ввод третьего параметра, учитывающего одновременно неэкспоненциальность сигнала релаксации и нелинейность аппаратных преобразователей с оптимальным выбором границ случайного поиска (см.

рис. 1, средний график), позволяет в конечном итоге более точно отразить эксперимент (см. рис.1, правый график).

На рис. 2 слева приведены частотные сканы, полученные при разных длительностях импульса заполнения ГУ. Это позволило усложнить структуру модели и ввести четвертый параметр – постоянную заполнения ГУ.

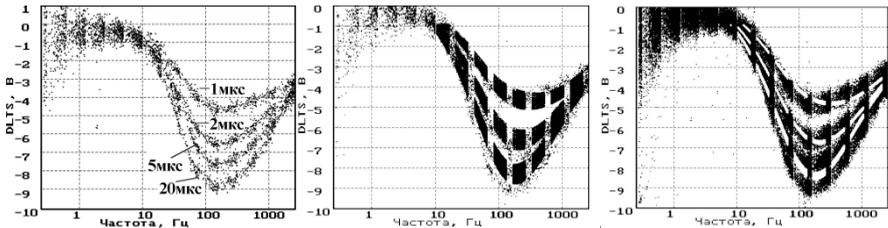


Рис. 2. Мультикановая идентификация модели

Для идентификации четырехпараметрической модели предложено использовать одновременно несколько сканов при расчете невязки (см. рис.2, средний график). Многократное повторение экспериментов позволило увеличить количество сканов и выявить несовершенство предложенной четырехпараметрической модели (см. рис.2, правый график).

Список литературы

1. Крылов, В.П. Комплексное моделирование физических процессов и аппаратных преобразований в релаксационной спектроскопии глубоких уровней / Крылов В.П., Богачев А.М., Пронин Т.Ю., Мищенко А.А. // Сборник научных трудов I Международной научно-практической конференции «САПР и моделирование в современной электронике» 22-23 ноября 2017 г. / под ред. Л.А. Потапова, А.Ю. Дракина. – Брянск: БГТУ, 2017. – С. 9 – 11.
2. Литвинов, В.Г. Релаксационная спектроскопия глубоких уровней и ее применение для исследования полупроводниковых структур микро- и нанoeлектроники / Литвинов В.Г., Гудзев В.В., Милованова О.А., Рыбин Н.Б. // Датчики и системы. – 2009. – №9. – С. 71 – 78.
3. Крылов, В.П. Корреляционная обработка и моделирование процессов релаксации емкости микроэлектронных барьерных структур / Крылов В.П., Богачев А.М., Мищенко А.А., Пронин Т.Ю. // V Международная научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов "Энергосбережение и эффективность в технических системах", г. Тамбов 4-6 июня 2018 г. – Тамбов: ТГТУ. – С.136 – 137.

Материал поступил в редколлегию 11.10.18.

А.А. Малаханов

(г. Брянск, Брянский государственный технический университет)

ВАРИАНТ РЕАЛИЗАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ С КОРРЕКЦИЕЙ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ В SCILAB

Приведен вариант реализации модели активного однофазного корректора коэффициента мощности (ККМ) в свободно распространяемом математическом пакете SCILAB. Представлены результаты моделирования.

An embodiment of the model of the active single-phase power factor corrector in the freely distributed mathematical package SCILAB is given. Presents the results of the simulation.

Ключевые слова: корректор коэффициента мощности, широтно-импульсная модуляция, преобразователь напряжения, модель.

Keywords: power factor corrector, pulse width modulation, voltage converter, model.

При проектировании и исследовании импульсных преобразователей напряжения с замкнутыми системами автоматического управления разработчик сталкивается с необходимостью реализовать модель преобразователя в каком-либо специализированном САПР (OrCad, MultiSim, Matlab/Simulink и пр.) в виде блоков, схем или структур. Однако такой путь может быть неэффективен в связи с низкой скоростью и точностью расчетов, проблемой сходимости численных методов и т.п. Другой путь – это создание для проектируемого преобразователя математической модели с реализацией на языке программирования.

Достаточно удобным инструментом реализации математических моделей является свободно распространяемый программный продукт SciLab, представляющий хорошую альтернативу коммерческому Matlab.

Рассмотрим реализацию основных программных процедур для получения результата работы импульсного преобразователя, представленного в виде схемы замещения на рис.1, во временной области.

Обозначения в схеме замещения означают следующее: u – выпрямленное сетевое переменное напряжение $u=U_m \cdot |\sin(\omega t)|$; R – сопротивление потерь в индуктивности фильтра и преобразователе; L – индуктивность; C – емкость; R_H – сопротивление нагрузки; ИМ – широтно-импульсный модулятор; β_1, β_2 - коэффициенты передачи датчиков обратной связи выходного напряжения и тока дросселя соответственно; β_3 – коэффициент передачи датчика входного напряжения; KV_1, KV_2 – корректирующие устройства контуров напряжения и тока соответственно;


```

//-----матрицы силовой части в режиме непрерывного тока дросселя-----
S.A1=[-R/L 0;0 -1/(C*Rn)]; // ключ замкнут
S.A2=[-R/L -1/L;1/C -1/(C*Rn)]; // ключ разомкнут
S.B=[1/L 0]';
//-----дополнение в режиме прерывистого тока дросселя-----
S.A3=[0 0; 0 -1/(C*Rn)]; // ключ разомкнут, тока нет
S.B3=[0 0]';
Xo=[0 0]'; // нулевые начальные условия
counter=1; // счетчик рассчитанных точек мгновенных значений
n_min=1; step=1;
//-----расчет преобразователя во временной области-----
for n=n_min:step:number
    S.k=n;
    S.Xk_1=Xo; // глобальная переменная для определения "gamma Zk1"
    S.Zk1=gamma(2,Xo) // поиск коэффициента заполнения
    Z_k1(:,n)=S.Zk1;
    Xk=x(1,Xo,S.Zk1); // 1 - ключ открыт
    S.Xtk=Xk; // глобальная переменная для определения "Zk2"
    S.Zk2=delta(1,Xk); // поиск пересечения тока с нулем
    Z_k2(:,n)=S.Zk2;
    Xd=x(0,Xk,S.Zk2-S.Zk1);
    for i=0:1/w:1-1/w
        S.Uvivr=abs(S.Em*sin(S.w*(S.k-1+i)*S.a));
        Uvivr(1,counter)=S.Uvivr;
        S.bet3Uvivr=S.bet3*S.Uvivr;
        bet3Uvivr(1,counter) = S.bet3Uvivr;
        Up(1,counter)=S.Uop*i;
        if i<S.Zk1
            Xmg(:,counter)=x(1,Xo,i);
            KFR(1,counter)=1;
        else
            if i<=S.Zk2
                Xmg(:,counter)=x(0,Xk,(i-S.Zk1));
            else
                Xmg(:,counter)=x(2,Xd,(i-S.Zk2));
            end
            KFR(1,counter)=0;
        end
        Ierr(1,counter)=S.alp2*(S.alp1*(S.Uzad-S.bet1*Xmg(2,counter))*...
            S.bet3Uvivr-S.bet2*Xmg(1,counter));
        Vremya(1,counter)=(counter-1)/w*S.a;
        counter=counter+1;
    end
    if S.Zk2>=1-S.eps
        Xo=x(0,Xk,(1-S.Zk1));
    else
        Xo=x(2,Xd,(1-S.Zk2));
    end
end
end

```

```

//-----преобразование для получение входного напряжения
t=Vremya;
Uvh=S.Em*sin(omega*t); // синусоидальное входное напряжение
IL = Xmg(1,:);
Uc = Xmg(2,:);
//-----преобразование для получения тока потребляемого из сети
Ivh=Xmg(1,:);
points=size(Ivh,2);
php = fk*w/(2*fc); // число точек на полупериод
number_half_periods = points*2*fc/(fk*w); // число полупериодов
half_per = floor(number_half_periods); // округление до меньшего целого
for i=2:2:half_per
    Ivh((i-1)*(php+1):1:i*php)=-1.*Ivh((i-1)*(php+1):1:i*php);
end
if pmodulo(half_per,2)~=0
    Ivh(half_per*(php+1):1:$)=-1.*Ivh(half_per*(php+1):1:$);
end
//-----конец основной программы, вспомогательные операции, вывод результатов-----

```

Основная программа дополняется подпрограммами-функциями для определения вспомогательных данных, которые требуются для: определения момента коммутации силового ключа импульсного модулятора «gamma»; поиска значений вектора переменных состояния «x»; определения мгновенных значений разностной функции «dzeta»; определения момента снижения тока до нуля «delta», выполнения преобразования Фурье, вывода графиков токов и напряжений и многого другого.

Для примера ниже представлена подпрограмма-функция определения мгновенных значений разностной функции.

```

function [dz]=dzeta(Xo, z)
global S;
X=x(1,Xo,z);
S.Uc=X(2);
S.IL=X(1);
dz=S.alp2*(S.alp1*(S.Uzad-S.bet1*S.Uc)*S.bet3*abs(S.Em*sin(S.w*(S.k-1+z)*S.a))-
S.bet2*S.IL)-S.Uop*z;
endfunction

```

После выполнения программы расчета и вспомогательных подпрограмм у разработчика имеется возможность графического представления расчетного материала. Это могут быть временные диаграммы токов и напряжений силовой части, а также сигналов системы управления (рис. 2). Дополнив программу функциями для исследования работы в области вариации параметров системы управления либо номиналов элементов силовой части, можно перейти к более углубленному изучению поведения импульсного преобразователя, включая его нелинейную динамику. Результат получения бифуркационных диаграмм представлен на рис. 3.

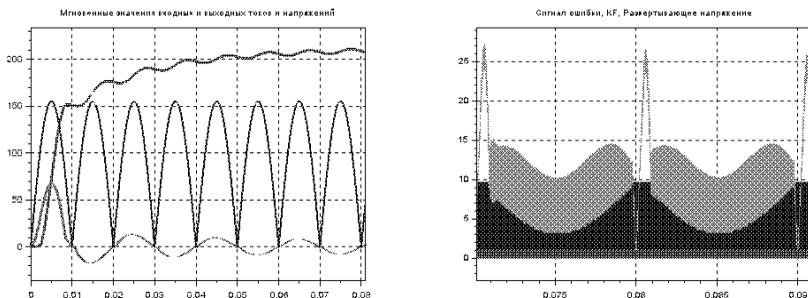


Рис. 2. Результат моделирования во временной области преобразователя напряжения

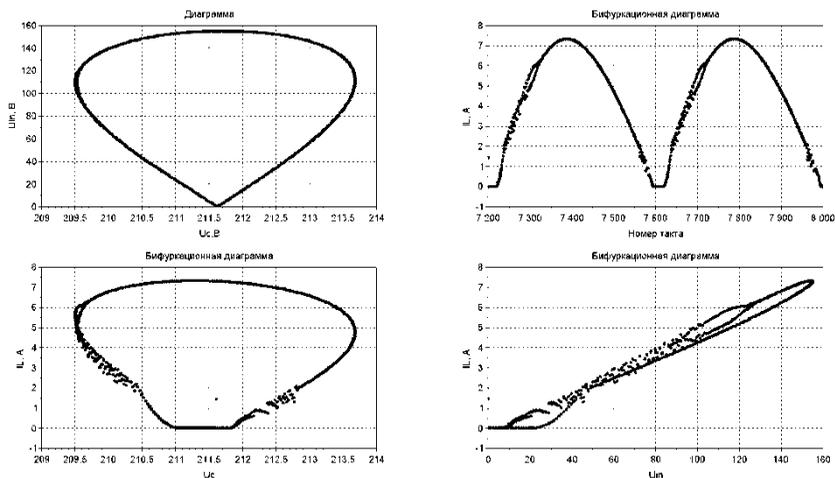


Рис. 3. Результат моделирования нелинейной динамики преобразователя напряжения с ККМ

Таким образом, используя аппарат математического моделирования с реализацией модели в SciLab, можно получать результаты достаточно быстро, точно и, что немаловажно, без необходимости приобретения лицензии на использование программного продукта.

Список литературы

1. Андриянов, А.И. Математическое моделирование динамики импульсного преобразователя напряжения повышающего типа / А.И. Андриянов, А.А. Малаханов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2006. – №1 (9). – С.61-69.
2. Михальченко, Г.Я. Математическая модель однофазного корректора коэффициента мощности / Г.Я. Михальченко, А.А. Малаханов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2008. – № 2 (18). – Ч.2. – С. 143-149.
3. Андриянов, А.И. Нелинейная динамика однофазных корректоров коэффициента мощности на основе непосредственного повышающего преобразователя напряжения / А.И. Андриянов, И.Ю. Бутарев, А.А. Малаханов // Системы управления и информационные технологии. – 2014. – №4 (58). – С. 45-52.

Материал поступил в редколлегию 14.10.18.

Л.А. Потапов, А.Н. Школин, Д.Г. Гадашев
(г. Брянск, Брянский государственный технический университет)

ТЕПЛОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

По переходной характеристике и табличным значениям тепловых сопротивлений для высокочастотных импульсных преобразователей напряжения LM 2676 получена теплоэлектрическая модель в виде схемы Фостера, электрический переходный процесс в которой численно совпадает с переходной тепловой характеристикой. С помощью полученной теплоэлектрической модели исследован процесс изменений температуры при кратковременном увеличении нагрузки и мощности потерь.

According to the transient characteristic and tabulated values of thermal resistances for high-frequency impulse voltage converters LM 2676, a thermoelectric model was obtained in the form of a Foster circuit, in which the electrical transient process coincides numerically with the transient thermal characteristic. With the help of the obtained thermoelectric model, the process of temperature change with a short-term increase in load and power loss is investigated.

Ключевые слова: тепловое сопротивление, теплоэлектрическая модель, схема Фостера.

Keywords: thermal resistance, thermoelectric model, Foster circuit.

Предисловие

Надежность полупроводниковых приборов в значительной степени зависит от температуры их p - n -перехода. Превышение температуры в номинальном режиме сверх рекомендуемого на 10-15% может сократить срок службы изделия более чем на 50%. Часто это обнаруживается только на этапе эксплуатации, как скрытый дефект, поскольку при контроле электрических параметров температура p - n -перехода обычно не контролируется. Такая ситуация недопустима для высокочастотных импульсных преобразователей напряжения (ВИПН), работающих в сложных автоматизированных системах, в авиационной и космической технике и во многом определяющих их надежность.

Во многих статьях [1-4] и др. используются теплоэлектрические модели в виде схем Фостера или Кауэра. При этом основное внимание авторов сосредоточено на определении тепловых сопротивлений в начале нагрева. Полученные четырехзвенные или шестизвенные модели в виде схем

Фостера[1] используются в статическом режиме для корректировки технологического процесса.

Для практических целей более оправданы двухзвенные теплоэлектрические модели из RC -элементов, обеспечивающие в переходных режимах численное совпадение с переходной тепловой характеристикой (ПТХ) исследуемого полупроводникового прибора (ПП). Такие модели позволяют оценить изменение температуры кристалла и корпуса ПП при кратковременном увеличении нагрузки, при изменении тепловых сопротивлений и других параметров ВИПН.

Моделирование тепловых процессов высокочастотного импульсного преобразователя напряжения

Целью моделирования тепловых процессов является построение электрической цепи из RC элементов, переходный процесс в которой численно совпадает с переходной тепловой характеристикой (ПТХ) высокочастотного импульсного преобразователя напряжения (ВИПН).

Если переходная тепловая характеристика (ПТХ) исследуемого ВИПН аппроксимируется двумя экспонентами

$$T(t) = T_0 - A_T \exp(-p_{1T}t) - B_T \exp(-p_{2T}t), \quad (1)$$

то в электрической цепи напряжения на одном из элементов должно определяться аналогичной зависимостью

$$U(t) = U_0 - A_U \exp(-p_{1U}t) - B_U \exp(-p_{2U}t), \quad (2)$$

где $U_0 = T_0$, $p_{1U} = p_{1T}$, $p_{2U} = p_{2T}$, $A_T = A_U$, $B_T = B_U$. (3)

При исследовании полученных электрических цепей (моделей) с помощью программ Orcad, Multisim, Electronics Workbench целесообразно изменить масштаб времени, например, корни характеристического уравнения увеличить в 1000 раз, а постоянные времени во столько же раз уменьшить, полагая

$$p_{1U} = 1000p_{1T}, p_{2U} = 1000p_{2T}.$$

Чтобы получить напряжения в узлах схемы (рис.1) в установившемся режиме численно равными температуре кристалла и корпуса исследуемого ВИПН, задаем $R_1 = R_{thjc}$, $R_2 = R_{thca}$, $J = P$, где P - мощность нагрева (потерь). Емкости определим сначала в общем виде, рассматривая переходный процесс в схемах

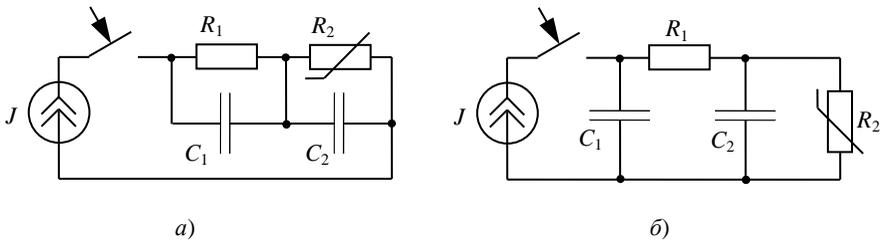


Рис.1. Схемы: а - Фостера; б - Кауэра.

В схеме Кауэра потенциал узла 1 (эквивалент температуры p - n -перехода) можно определить из операторной схемы замещения, применяя метод узловых потенциалов:

$$\begin{cases} U_1(p) \left(\frac{1}{R_1} + pC_1 \right) - U_2(p) \frac{1}{R_1} = \frac{J}{p} \\ U_2(p) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + pC_2 \right) - U_1(p) \frac{1}{R_1} = 0 \end{cases}$$

$$U_1(p) = \frac{JR_1^2 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + pC_2 \right)}{p \left(p^2 R_1^2 C_1 C_2 + p \left(R_1 C_2 + R_1 C_1 + \frac{R_1^2}{R_2} C_1 \right) + \frac{R_1}{R_2} \right)} = \frac{N(p)}{M(p)}.$$

Знаменатель этого уравнения позволит определить корни характеристического уравнения p_{1U} и p_{2U} и $p_{3U}=0$

$$p_{1,2U} = -\frac{C_1 + C_2 + \frac{R_1}{R_2} C_1}{2R_1 C_1 C_2} \pm \sqrt{\left(\frac{C_1 + C_2 + \frac{R_1}{R_2} C_1}{2R_1 C_1 C_2} \right)^2 - \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}}.$$

Если определена ПТХ и соответственно корни характеристического уравнения

$$p_{1U} = p_{1T} \quad \text{и} \quad p_{2U} = p_{2T},$$

то можно определить емкости C_1 и C_2 при известных R_1 и R_2 , используя теорему Виетта:

$$\begin{cases} \frac{C_1 + C_2 + \frac{R_1}{R_2} C_1}{2R_1 C_1 C_2} = \frac{p_{1U} + p_{2U}}{2} \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} = p_{1U} \cdot p_{2U} \end{cases} \quad (6)$$

Подставляя уравнение (6) в (5), получим:

$$\left(C_1 + C_2 + \frac{R_1}{R_2} C_1 \right) p_{1U} \cdot p_{2U} R_2 = (p_{1U} + p_{2U}). \quad (7)$$

Из уравнения (6)

$$C_2 = \frac{1}{C_1 R_1 R_2 \cdot p_{1U} \cdot p_{2U}}. \quad (8)$$

Подставляя уравнение (8) в (7), получим:

$$C_1 \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) + \frac{1}{C_1 R_1 R_2 \cdot p_{1U} \cdot p_{2U}} = \frac{(p_{1U} + p_{2U})}{R_2 p_{1U} p_{2U}};$$

$$C_1 = \frac{(p_{1U} + p_{2U})}{2(R_1 + R_2)p_{1U} p_{2U}} \pm \sqrt{\left[\frac{(p_{1U} + p_{2U})}{2(R_1 + R_2)p_{1U} p_{2U}} \right]^2 - \frac{1}{R_1 R_2 \cdot p_{1U} \cdot p_{2U} (1 + R_1/R_2)}}.$$

В большинстве случаев параметры ВИПН таковы, что

$$\left[\frac{(p_{1U} + p_{2U})}{2(R_1 + R_2)p_{1U} p_{2U}} \right]^2 < \frac{1}{R_1 R_2 \cdot p_{1U} \cdot p_{2U} (1 + R_1/R_2)}.$$

При этом емкости оказываются комплексные. В этих случаях построить электрическую цепь по схеме Кауэра и получить теплоэлектрическую модель ВИПН невозможно.

Для схемы Фостера потенциал узла 1 можно определить из системы операторных уравнений

$$\begin{cases} U_1 \left(\frac{1}{R_1} + pC_1 \right) - U_2 \left(\frac{1}{R_1} + pC_1 \right) = \frac{J}{p} \\ U_2 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + pC_1 + pC_2 \right) - U_1 \left(\frac{1}{R_1} + pC_1 \right) = 0 \end{cases}$$

$$U_1 = \frac{J \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} + p(C_1 + C_2) \right)}{p \left(\frac{1}{R_1} + pC_1 \right) \left(\frac{1}{R_2} + pC_2 \right)} = \frac{N(p)}{M(p)}.$$

Приравнявая знаменатель нулю, определяем корни характеристического уравнения

$$p_{1U} = -\frac{1}{R_1 C_1}, \quad p_{2U} = -\frac{1}{R_2 C_2}, \quad p_3 = 0.$$

Тогда уравнение переходного процесса будет иметь вид

$$U_1 = U_0 + Ae^{p_{1U}t} + Be^{p_{2U}t}.$$

Если определена ПТХ исследуемого ВИПН и аппроксимирована уравнением (1), то можно определить емкости C_1 и C_2 , полагая $R_1 = R_{thjc}$, $R_2 = R_{thca}$, $p_{1U} = p_{1T}$, $p_{2U} = p_{2T}$. Тогда

$$C_1 = \frac{1}{R_1 |p_{1T}|}, \quad C_2 = \frac{1}{R_2 |p_{2T}|}.$$

На рис.2 приведена теплоэлектрическая модель ВИПН LM2676, в которой из справочных данных взяли $R_1=2$ Ом, $R_2=63$ Ом, имитирующие тепловое сопротивление «переход – корпус» $R_{\theta JC}$ и «корпус – окружающая среда» $R_{\theta CA}$

$$R_{\theta CA} = R_{\theta JA} - R_{\theta JC} = 65 - 2 = 63 \text{ Ом.}$$

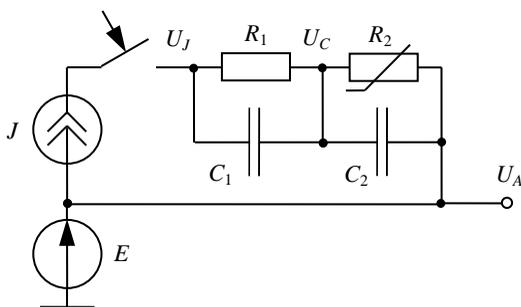


Рис.2. Теплоэлектрическая модель LM2676

Сопротивление R_2 нелинейное и может изменяться при изменении напряжения U_C , имитирующего температуру корпуса ПП. Потенциалы U_A , U_1 , U_2 соответствуют численным значениям температуры T_A , T_J , T_C (окружающей среды, кристалла и корпуса).

По экспериментально определенной ПТХ

$$T_1(t) = 85 - 8e^{-0,02t} - 57e^{-0,003t}$$

с учетом (4) определяем емкости

$$C_1 = 10 \text{ Ф, } C_2 = 5,3 \text{ Ф.}$$

Как отмечается в стандарте [4], емкость C_2 не следует связывать с теплоемкостью корпуса, а емкость C_1 с теплоемкостью остальных узлов ПП.

Чтобы изменить масштаб времени и сделать наглядным переходный процесс, изменяем в 1000 раз емкости C_1 и C_2 и p_1 и p_2 . Тогда уравнение переходного процесса будет иметь вид

$$U_1(t) = 85 - 8e^{-20t} - 57e^{-3t}. \quad (4)$$

На рис.3 приведена ПТХ с измененным масштабом времени.

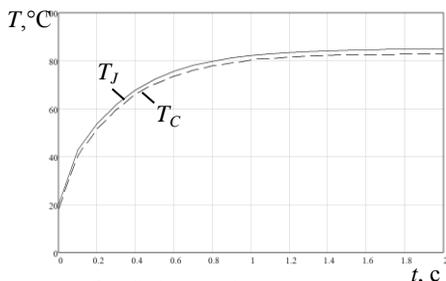


Рис.3. Переходная тепловая характеристика ВППН LM2676 с изменением масштаба времени

Сплошная линия на рис. 3 определяет зависимость температуры кристалла от времени $T(t)$ – переходную тепловую характеристику (ПТХ) ВППН LM2676; пунктирная – зависимость температуры корпуса от времени.

Для получения зависимости напряжения от времени $U(t)$ использована программа Electronics Workbench, дающая возможность наблюдать переходный процесс в теплоэлектрической модели после замыкания ключа.

На рис.4 приведена теплоэлектрическая модель (по схеме Фостера), в программе Electronics Workbench (EWB512), имитирующая переходную тепловую характеристику ВИПН LM2676.

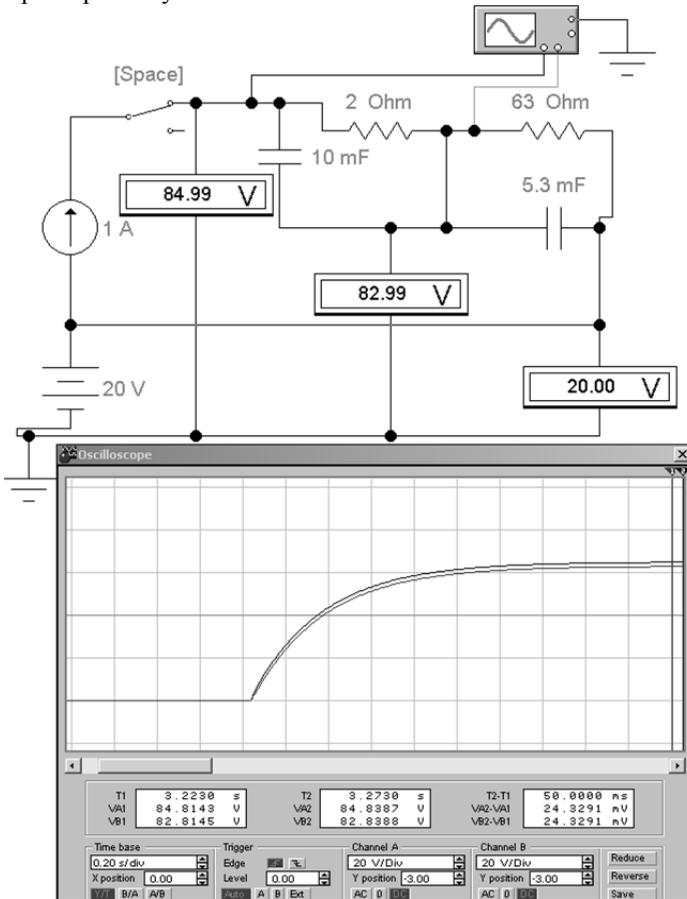


Рис.4. Теплоэлектрическая модель ВИПН LM2676 в программе Electronics Workbench (EWB512)

В этой модели для наглядности добавлены вольтметры, фиксирующие напряжения в конце переходного процесса U_J , U_C , U_A и соответственно температуры T_J , T_C , T_A . На осциллографе (рис.4) выводится сначала в течение 0,8 с напряжение U_A , имитирующее температуру окружающей среды $T_A = 20^\circ\text{C}$, затем переходный процесс $U(t)$, имитирующее температуру p-n перехода и соответственно кристалла ВИПН. Зависимость $U(t)$ (рис.4) хорошо совпала с зависимостью $T(t)$ (рис.3), что позволяет считать построенную теплоэлектрическую модель вполне адекватной ПТХ LM2676.

Используя полученную теплоэлектрическую модель, можно исследовать различные режимы работы ВИПН.

С помощью теплоэлектрической модели можно исследовать процесс изменения температуры ВИПН при кратковременном увеличении нагрузки. На рис.5 приведена осциллограмма изменения напряжения U_1 и соответственно температуры p - n -перехода при увеличении нагрузки в 2 раза за время $t_U=0,3$ с. Напряжение достигло величины 150 В, что соответствует недопустимой температуре p - n -перехода 150°C .

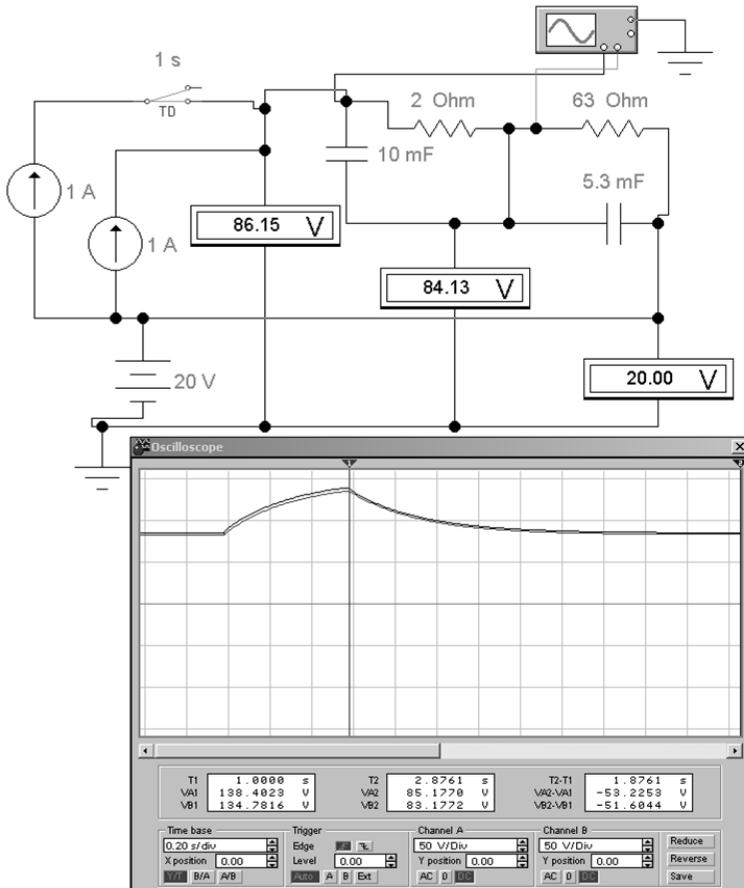


Рис.5. Исследование процесса изменения температуры ВИПН при кратковременном увеличении нагрузки

Варьируя длительность включения перегрузки, можно определить допустимую длительность включения с двойной нагрузкой (не превышая допустимую температуру).

Аналогичным образом можно исследовать, как изменяется ПТХ при изменении сопротивлений R_1 и R_2 .

Модель наглядно демонстрирует неэффективность применяемого иногда способа «контроля посадки кристалла», заключающегося в кратковременном на доли секунд включении ПП под напряжение. Такой способ не позволит выявить даже пятикратное увеличение теплового сопротивления. В то же время увеличение сопротивления R_{thjc} в 1,3 раза (предел допуска) за время равное $\tau_1 = \frac{1}{|p_1|} = R_1 C_1$ приведет к увеличению температуры от 37,7 до 38,4°C. Эта разность температур достаточна для организации 100%-ного контроля ВИПН методом сравнения с эталоном.

Заключение

По переходной тепловой характеристике и табличным значениям тепловых сопротивлений для высокочастотных импульсных преобразователей напряжения LM 2676 получена теплоэлектрическая модель в виде схемы Фостера, электрический переходный процесс в которой численно совпадает с переходной тепловой характеристикой. С помощью полученной теплоэлектрической модели исследован процесс изменений температуры при кратковременном увеличении нагрузки и мощности потерь. Полученная теплоэлектрическая модель может быть использована при проектировании и исследовании режимов работы изделий с ВИПН и другими ИМС.

Исследование выполнено по заданию Минобрнауки № 8.1729.2017/ПЧ.

Список литературы

1. Нисс, В.С. Оценка тепловых параметров мощных биполярных транзисторов методом тепловой релаксационной дифференциальной спектроскопии / В.С. Нисс, О.С. Васьков, А.С. Турцевич, А.Ф. Керенцев, В.К. Кононенко // Приборы и методы измерений. – 2015. – Т. 6. – № 2. – С. 249–256.
2. Смирнов, В.И. Метод измерения компонент теплового сопротивления полупроводниковых приборов и его практическая реализация [и др.] / В.И. Смирнов, А.А. Гавриков, А.М. Шорин // Автоматизация процессов управления. – 2017. – № 2.
3. Гавриков, А.А. Измеритель теплового импеданса полупроводниковых диодов с широтно-импульсной модуляцией греющей мощности / В.А. Сергеев, В.И. Смирнов, А.А. Гавриков, М. Л. Конторович // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2010. – №3. – С.45-47.
4. JEDEC JESD51-14 standard. Transient Dual Interface Test Method for the Measurement of the Thermal Resistance Junction to Case of Semiconductor Devices with Heat Flow through a Single Path.
5. T3Ster – Thermal Transient Tester. – URL:<https://www.mentor.com/micred/t3ster>.

Материал поступил в редколлегию 15.10.18.

К.В. Татмышевский
(г. Владимир, Владимирский государственный университет
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых)

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНОЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО СЕНСОРА ИМПУЛЬСНОГО ДАВЛЕНИЯ С УЧЕТОМ ПРЕДЫСТОРИИ НАГРУЖЕНИЯ

Рассмотрено математическое моделирование выходных сигналов механолюминесцентных сенсоров ударных воздействий, работающих по принципу прямого преобразования механической энергии удара в энергию оптического излучения с учетом предыдущей истории деформирования материала сенсора.

The problem of mathematical modeling of the output signals of mechanoluminescent shock sensors operating on the principle of direct conversion of the mechanical energy of impact into the energy of optical radiation taking into account the previous history of deformation of the sensor material is considered.

Ключевые слова: деформационная механолюминесценция, механолюминесцентный сенсор.

Keywords: deformation mechanoluminescence, mechanoluminescent sensor.

Вывод о перспективности применения механолюминесцентных сенсоров (МЛС) в устройствах регистрации импульсного давления [1, 2] вызвал необходимость разработки математической модели МЛС и исследование на её основе закономерностей формирования выходных оптических сигналов в зависимости как от параметров входных импульсов импульсного давления, так и внутренней структуры материала МЛС [3]. Особый интерес для изучения представляет механолюминофор на основе соединения $ZnS:Mn$, обладающий наибольшей яркостью свечения и представляющий собой полупроводник класса A_2B_6 с широкой запрещенной зоной.

Показано [4], что МЛ в соединениях A_2B_6 является следствием процесса движения дислокаций, сопровождающих пластическую деформацию кристаллов микропорошка. Дислокации в полупроводниках A_2B_6 обладают сильным электрическим зарядом. В процессе пластического деформирования происходит взаимодействие марганцевых центров свечения (ЦС) с электрическим полем движущихся заряженных дислокаций, которое приводит к возбуждению ЦС с их последующими излучательными переходами, формирующими выходной оптический сигнал МЛС.

Математическая модель МЛС представляет собой систему интегро-дифференциальных уравнений, основой которой является уравнение (1)

светового потока люминесценции как функции времени (кривая высвечивания)

$$\begin{cases} \Phi(t) = 2k_B N_{\text{ЦС}} \frac{\eta}{\tau} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \int_0^{t_\sigma} r_{\text{вз}}(t) \tilde{N}_{mD}(t) \tilde{U}_D(t) dt, & (1) \\ \tilde{N}_{mD}(t) \tilde{U}_D(t) = \frac{3}{4} \frac{\dot{\varepsilon}_1^p}{|\vec{b}|} & (2) \end{cases}$$

где k_B – коэффициент, учитывающий особенности вывода излучения; $N_{\text{ЦС}}$ – общее количество ЦС в люминесцентном материале; η – энергия кванта света; τ – постоянная времени экспоненциального затухания свечения (150 мкс); t_σ – длительность возбуждения ЦС импульсом давления $\sigma(t)$; $r_{\text{вз}}$ – радиус взаимодействия дислокации с ЦС; \tilde{N}_{mD} – средняя плотность подвижных дислокаций; \tilde{U}_D – скорость движения дислокаций, усредненная по дислокационному массиву; $|\vec{b}|$ – модуль вектора Бюргерса, характеризующий область искажения кристаллической решетки дислокацией определенного типа; $\dot{\varepsilon}_1^p$ – скорость роста пластических деформаций; t – текущее время. Уравнение (2) описывает кинетику пластической деформации.

Совместное решение системы интегро-дифференциальных уравнений кривой высвечивания и кинетики пластического деформирования сенсора было выполнено в среде MATLAB [3]. Для решения обыкновенного дифференциального уравнения была выбрана функция `ode13` из библиотеки функций MATLAB. Она представляет собой решатель переменного порядка, основанный на формуле Адамса – Башворта – Мулттона. Для вычисления определенного интеграла использовался метод квадратур - `quad`.

Отдельные блоки программы рассчитывали квантово-механические, электрические и кинетические дислокационные параметры механолюминесцентного люминофора ЭЛС-580 (ZnS:Mn).

В соответствии с основами теории дислокационной микропластичности при каждом акте пластической деформации будет изменяться и дислокационная структура кристалла. Причём направление изменений дислокационной структуры будут зависеть от её фактического состояния и предыстории механических нагрузжений [5, 6].

Если положение рабочей точки материала на известной диаграмме $\sigma(\varepsilon)$ находится правее площадки текучести, то с действием каждого последующего импульса давления общая плотность дислокаций должна возрастать, а плотность подвижных дислокаций должна уменьшаться. Тогда уменьшение плотности подвижных дислокаций в соответствии с микродинамической теорией пластичности [6] должно приводить к снижению интенсивности излучения с каждым новым циклом. Для оценки величины уменьшения амплитуды светимости при многократном действии импульса давления было проведено численное моделирование. В программе расчета конечная общая плотность дислокаций после действия предыдущего

импульса давления подставлялась как начальная плотность дислокаций для следующего цикла нагружения.

Расчеты проводились для многократного действия импульсов давления полусинусоидальной формы с амплитудами $\sigma_A=90$ МПа и $\sigma_A=180$ МПа. Длительность воздействующего импульса давления составляла $t_\sigma=60$ мкс, пауза между смежными импульсами намного превышала время релаксации. Результаты расчетов приведены на рис. 1.

Здесь видно, что в первом случае спад интенсивности излучения после 10^5 циклов нагружения составил 0,12%, а во втором – 0,23% от своего начального значения.

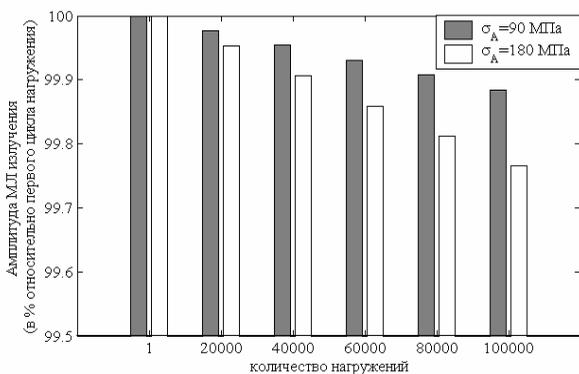


Рис. 1. Влияние числа циклов нагружения на амплитуду выходного оптического сигнала (энергетической светимости) МЛС

Полученные величины спада излучения незначительны и позволяют сделать вывод о возможности применения механолюминесцентных чувствительных элементов в условиях воздействий многократных импульсных давлений.

Список литературы

1. Власов, А.С. Перспективы применения механолюминесцентных сенсорных элементов/ А.С. Власов, К.В. Татмышевский // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 1-4 (55). – С.42-43.
2. Sage I., Bourhill G. Triboluminescent materials for structural damage monitoring // J. Mater. Chem., 2001. № 11. P. 231-245.
3. Татмышевский, К.В. Механолюминесцентные датчики для регистрации ударных воздействий// Динамика систем, механизмов и машин. –2017. –Т.5. –№ 4. –С.264-271.
4. Электронные свойства дислокаций в полупроводниках/ под ред. Ю.А.Осипьяна. –М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 320 с.
5. Тейлор, Дж. Динамика дислокаций и динамическая текучесть/ Дж. Тейлор //Механика. – М., 1966. – №4. – С. 145-152.
6. Гилман, Дж. Микродинамическая теория пластичности / Дж. Гилман // Микропластичность. – М.: Металлургия, 1972. –С. 18-37.

Материал поступил в редколлегию 12.10.18.

В. А. Турко

(г. Минск, Центр системного анализа и стратегических исследований
Национальной академии наук Беларуси)

АКТУАЛЬНОСТЬ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СЛОЖНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Власть чисел тем могущественнее, чем меньше в них разбираются.

Вольтер

Математика, подобно жернову, перемалывает то, что под неё засыпают, и, как засыпав лебеду, вы не получите пшеничной муки, так, исписав целые страницы формулами, вы не получите истины из ложных посылок.

Томас Генри Гексли

Рассмотрена актуальность исследований, синтезирующих в себе подходы математического моделирования сложных систем и направленные на системный анализ сбалансированного развития экономики с целью получения эффективной оценки деятельности государства. Внимание уделено центральному вопросу о критерии оптимального функционирования экономики. Описано стремление соизмерить общественную полезность результатов производства и получение оценки используемых ресурсов.

Of particular relevance are studies that synthesize the approaches of mathematical modeling of complex systems and are aimed at system analysis of balanced development of the economy in order to obtain an effective assessment of the state's activities. The central question remains the criteria for the optimal functioning of the economy. Therefore, when choosing the optimal technological options for achieving planned targets, it is necessary to use mathematical methods for solving extreme problems. The common basis remains the desire to commensurate the public utility of the results of production and to obtain estimates of the resources used.

Ключевые слова: модели общего равновесия, критерии оптимального функционирования экономики, математические методы.

Keywords: computable General Equilibrium models, remains the criteria for the optimal functioning of the economy, mathematical methods.

Исследование макроэкономических явлений с использованием математических методов приобретает особое значение в условиях кризисов и глобализации экономики. В настоящее время особую актуальность приобретают исследования, синтезирующие в себе подходы математического моделирования сложных систем и направленные на системный анализ экономики всей страны, с целью получения количественной оценки деятельности государства. Построение математической модели проводится по общим этапам с учетом специфики моделирования, эти этапы можно представить в виде блок-схемы (рис.1).

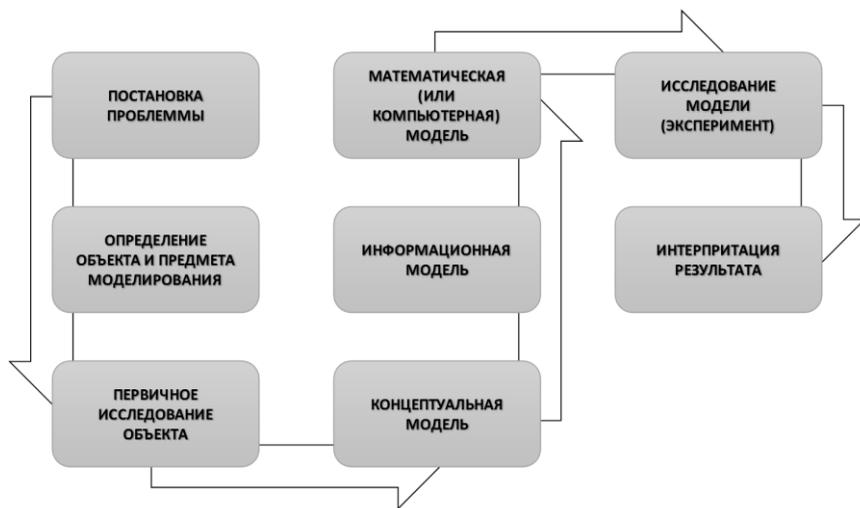


Рис. 1. Этапы построения математической (компьютерной) модели

Одним из перспективных инструментов количественной оценки действий правительства непосредственно является новый класс экономико-математических моделей – модели общего равновесия, известные в зарубежной литературе как Computable General Equilibrium models (CGE models). Чтобы усилить работу по обеспечению процесса координации экономических политик надежным инструментарием и аналитическими профессиональными выкладками, ЕАБР и ЕЭК совместно наращивали свой потенциал в сфере прогнозирования и моделирования. Результатом этой работы стала Интегрированная система моделей (ИСМ) — основанный на принципах общего равновесия многострановой модельный комплекс. Параллельно ей развивалась теория динамического стохастического общего равновесия (DSGE). Из-за своей полуструктурной формы модель

представляет собой упрощение полномасштабной структурной модели на основе оптимизации деятельности всех экономических агентов в рамках динамического стохастического общего равновесия. Однако DSGE модели показали свою ущербность в период кризиса 2007-2014 года в США. Программа количественного смягчения (QE), проводимая ФРС США в посткризисный период, вызывает большой интерес со стороны мирового сообщества, так как оценки её эффективности значительно отличаются, а однозначного ответа на вопрос о результативности действий ФРС США получено не было.

Центральным остается вопрос о критерии оптимального функционирования экономики. Поэтому при выборе оптимальных технологических вариантов достижения плановых целей необходимо использовать математические методы решения экстремальных задач. Общей основой остается стремление соизмерить общественную полезность результатов производства и получить оценки используемых ресурсов.

«Новаторскими» моделями в последнее время считаются агент-ориентированные модели (АОМ) [1], относящиеся к классу моделей, основанных на индивидуальном поведении агентов и создаваемых для компьютерных симуляций». Актуальность использования суперкомпьютерных технологий для разработки АОМ обусловлена тем, что оперативная память обычного персонального компьютера не способна вместить то количество экономических агентов, которое необходимо для описания их отношений в мировом масштабе. Для пересчета состояния масштабной системы с нетривиальной логикой поведения и взаимодействия агентов требуются значительные вычислительные ресурсы, сопоставимые с потребностями вычислительных методов математической физики с аналогичным количеством расчетных ячеек.

Техническая база для использования агент-ориентированных моделей базируется на разработке IBM по созданию нейросинаптического процессора. Проект, стартовавший в 2008 году по заказу агентства DARPA. Процессор, должен работать по алгоритмам, имитирующим работу головного мозга. Непосредственно в основе разработки лежит архитектура, отличная от классической неймановской логики. А концептуальная основа показана в материалах Всемирного банка «Цифровые дивиденды¹» и использование блокчейн технологий на этой основе.

В 2014 году ГНУ «Центром системного анализа и стратегических исследований Национальной академии наук Беларуси» была проведена программная реализация информационно-аналитического комплекса для

¹ <http://documents.worldbank.org/curated/en/224721467988878739/pdf/102724-WDR-WDR2016Overview-RUSSIAN-WebRes-Box-394840B-OUO-9.pdf>

прогнозирования важнейших показателей национальной экономики и планирования социально-экономической политики государства. Проведены расчеты показателей динамики ВВП и доходов населения в увязке с межсекторальными балансами спроса и предложения на период 2014-2030 годы [2]. Расчеты зиждились на принципах учета синергии взаимосвязи агентов национальной экономики в рамках системного подхода. Построенная модель показала на примере реальных исследований свою высокую продуктивность. Модель позволяет заблаговременно и точно спрогнозировать эффекты от проводимой политики, принимаемых управленческих решений; выявить скрытые зависимости в экономике. При этом реализация модели не несет в себе высоких материальных затрат. Модель имеет большое число уравнений и параметров с довольно простой структурой, что позволяет с помощью высокопроизводительных вычислений сделать ее полезной для практического применения. Таким образом, данная модель имеет особую практическую значимость и актуальность.

Потребуется совершенствование научных подходов, разработка новых моделей, позволяющих вырабатывать адекватные ответы на вызовы и прогнозы внешнего окружения. К этому подталкивает и тот факт, что модели, разработанные для отдельных стран для определенного исторического времени, шаблонно переносятся на иные страны, находящиеся в совершенно других исторических условиях. А бездумное копирование математических моделей, без учета национальных особенностей социально-экономических реалий, приводит к деградации «наших» экономических институтов. *Экономические прогнозы имеют вероятность не выполняться в полной мере. Это объясняется особенностями экономического прогнозирования. Во-первых, краткосрочные цели развития не накладываются на долгосрочные, а порой, и противоречат им. Во-вторых, любой прогноз в рыночных условиях не закон для выполнения, а лишь руководство к действию (нет фактора ответственности за разрабатываемые экономические прогнозы). Если и эти догмы не работают, то идут на самые изощренные – подмену методологии.*

Список литературы

1. Макаров, В.Л. Моделирование социально-экономических процессов с использованием суперкомпьютерных технологий: монография / В.Л. Макаров, А.Р. Бахтизин, Е.Д. Сушко. - Вологда: ИСЭРТ РАН, 2016. - 183 с.
2. Научный прогноз экономического развития Республики Беларусь до 2030 года / В. Г. Гусаков [и др.]; под ред. акад. В. Г. Гусакова. – Минск: Беларуская навука, 2015. – 243 с.

Материал поступил в редколлегию 01.10.18.

У.Ю. Ахунджанов
(г. Фергана, Ферганский филиал Ташкентского университета
информационных технологий имени ал-Хоразмий)

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ОДНОМЕРНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ПЛАСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ОДНОРОДНОЙ СРЕДЕ

Рассматриваются задачи о распространении одномерных пластических волн в грунте при воздействии на границу грунтового полупространства интенсивной нагрузки убывающего профиля.

In this article observe the problem of spread of the one – dimensional plastic waves in the ground with influence to the board of ground half – space of the intensive load of the descending profile.

Ключевые слова: распространение пластических волн, дифференциальное уравнение, граничные условия, массовая скорость, скорость фронта.

Keywords: The spread of plastic waves, the differential equation, the boundary condition, the velocity of the mass, the velocity of the front.

Вопросы динамики быстротекущих процессов в структурно – неоднородных средах с различными включениями становятся всё более актуальными. Это связано с использованием взрыва в породном хозяйстве, необходимостью прогнозирования прочности специальных подземных сооружений и элементов конструкции в зонах интенсивного воздействия взрывного или сейсмического характера, а также с обеспечением сейсмостойкости различных гидротехнических и заглубленных в грунт сооружений, коммуникаций, тоннелей метрополитена и их элементов в сейсмических районах страны.

Очевидно, что при интенсивных кратковременных сейсмозрывных и других воздействиях, в большинстве встречающихся в практике случаях напряженные состояния сооружений, конструкций и окружающей их среды (грунт, воздух, вода) находятся за пределами упругости, а их материалы подвергаются в основном упругопластическим деформациям. В этом случае для определения нагрузок на многослойные подземные сооружения различной формы от указанных воздействий необходимо, в первую очередь, исследовать распространение упругопластических, в том числе пластических, волн в окружающей их слоистой среде и их кинематические параметры.

В связи с изложенным рассматривается ряд задач о распространении и отражении одномерных (плоской и сферической) пластических волн в грунтах и слоистых средах при воздействии на границу каверны $r = r_0$ интенсивной и монотонно убывающей во временной нагрузке $P_0(t)$.

Отметим, что аналогичные задачи ранее были исследованы в работах [1,2,3]. Причем в [2] аналитически обратным способом решения задачи о распространении плоской и сферической волн в нелинейно – сжимаемой среде с линейной и ломаной (в виде двух прямых с различными модулями юнга E_1 и E_2) разгрузками. Эти задачи в рамках «пластических газов» при конечных деформациях среды рассмотрены в [1] для идеальной пластической среды, а с учетом касательных напряжений грунта в [3]. В этих работах рассматриваемые задачи сведены к системе двух интегро-дифференциальных уравнений относительно радиуса каверны и функции деформации $\varphi(r)$, которые решаются численно на ЭВМ.

В предлагаемой работе в отличие от [1,2,3], указанные одномерные задачи при малых деформациях грунта решены для случая когда в области разгрузки среды зависимость между давлением P и объёмной деформацией ε состоит из вертикальной и наклонной прямой с модулем Юнга E . Как было указано, при интенсивных воздействиях грунт моделируется нелинейно – сжимаемой идеальной средой, обладающей за фронтом ударной волны $r = R(t)$ необратимым процессом разоружения. На фронте ударной волны, где происходит нагружение среды, зависимость между давлением P и объёмной деформацией ε принимается в виде полинома второй степени $P = (\alpha_1 + \alpha_2 \varepsilon) \cdot \varepsilon$, а разгрузочная ветвь этой диаграммы $P \approx \varepsilon$ состоит из вертикальной и наклонной с модулем юнга E линии (рис.1). Если в области возмущения (рис.1 область 1) давление $P(r,t) \geq P_1$, где P_1 - заданная постоянная величина, то, в отличие от [2,3], наблюдается вертикальная разгрузка, далее при $P(r,t) < P_1$, - необратимая упругая разгрузка среды со скоростью распространения $C_P = \sqrt{E/P_0}$. На линии $r = R^*(t)$ (рис.1) давление $P(r,t) = P_1$, является постоянной величиной, а деформации ε зависят от времени. В зависимости от величины скорости $\dot{R}^*(t) = dR^*(t)/dt$ в физической плоскости (r,t) возникают различные волновые схемы [2]. Построим аналитические решения задач с учетом этого обстоятельства.

Для решения задачи в области 1 (рис.1), где происходит жесткая разгрузка, имеем уравнения движения, неразрывности и состояния среды, соотношения на фронте волны $r = R(t)$ и граничное условие (начальные условие – нулевые) в виде [3].

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r} = 0, \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \left(\frac{\partial U}{\partial r} + v \frac{U}{r} \right) = 0, \quad \varepsilon = 1 - \frac{\rho_0}{\rho} = \varepsilon^*(r), \quad (1)$$

$$P^* = \rho_0 \dot{R}^2(t) \varepsilon^*(t), \quad U^*(t) = \varepsilon^*(t) \dot{R}(t), \quad (2)$$

$$P^*(t) = \alpha_1 \varepsilon^* + \alpha_2 \varepsilon^{*2}, \quad \text{при } r = R(t),$$

$$P(r,t) = P_0(t), \text{ при } r = r_0, \quad (3)$$

где U – массовая скорость, ρ – плотность; P – давление; ε – объемная деформация; α_1, α_2 – положительные экспериментально определяемые коэффициенты, $\nu = 0, 1, 2$ – относятся к плоскому, цилиндрическому и сферическому слою. Параметры среды, относящейся к фронту, обозначены сверху звездочкой. Решая уравнение (1) с учетом (2) и (3) аналитическим способом, определяем давление и массовую скорость на возмущённых областях 1, 2, 3... и т.д. и на фронте волны на $r = R(t)$ а также объёмную деформацию.

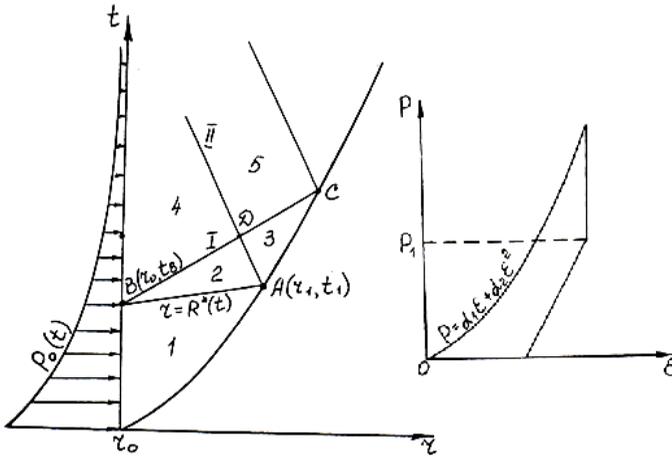


Рис. 1. Волновая схема для плоской задачи

Результаты расчётов для исходных параметров

$$\alpha_1 = 121,27 \text{ МПа}, \alpha_2 = 58,73 \cdot 10^2 \text{ МПа} \cdot \text{Е} = 14 \cdot 10^2 \text{ МПа}, \quad (4)$$

$$P_0 = 10 \text{ МПа}, P_1 = 3 \text{ МПа}, \rho_0 = 2 \text{ кг/см}^3 / \text{М}^4, r_0 = 0,1 \text{ м},$$

в случае, когда профиль нагрузки задан в виде:

$$P_0(t) = P_0 \exp(-\alpha t), \quad (5)$$

приводятся на рис.2, где внутренние масштабы по r и по t соответствуют $\nu = 0$.

При распространении в грунте цилиндрической и сферической пластической волны поверхность изобары давления, где $P(r,t) = P_0$, получается вытянутой во времени, а в плоском случае – вытянутой в сторону пространственной координаты r . Скорость сферической волны $R(t)$ в зависимости от времени затухает быстрее, чем скорость цилиндрической и плоской волн. При распространении в грунте плоской волны распределение

объемной деформации $\varepsilon(t)$ и массовой скорости $U(t)$ на поверхности $R^*(t)$ при $P(r,t) = P_1 = const$, имеет немонотонный характер, т.е. вблизи фронта волны наблюдается возрастание указанных параметров в зависимости от времени t (рис.2). Величины параметров $P^*(t), R(t), U^*(t), u\varepsilon^*(t)$ на фронте волны в зависимости от времени уменьшаются по нелинейному закону.

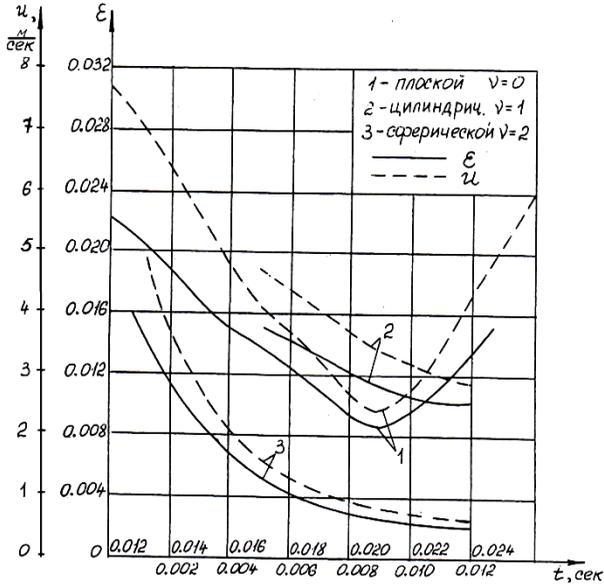


Рис. 2. Изменение массовой скорости и объемной деформации на поверхности в зависимости от времени

Таким образом, были рассмотрены задачи о распространении одномерных пластических волн в грунте при воздействии на границу грунтового полупространства интенсивной нагрузки.

Список литературы

1. Рахматулин, Х.А. Вопросы динамики грунтов/ Х.А. Рахматулин, А.Я. Сагомоян, Н.А. Алексеев. – М.: Изд-во МГУ, 1964.–239 с.
2. Атабоев, К. Распространение одномерной пластической волны в среде с линейной и ломанной разгрузками./ К. Атабоев, Н. Мамадалиев //ПМТФ, – 1981. – №3. – С.141-149.
3. Рахматулин, Х.А. О распространении ударной волны взрыва в грунтах./ Х.А. Рахматулин, Л.Н. Степанова // Вопросы теории разрушения пород действием взрыва. – 1958. – С.49-156.

Материал поступил в редколлегию 16.09.18.

**СЕКЦИЯ «МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ, ФИЗИЧЕСКИХ И РАДИОСИСТЕМ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, ПРОИЗВОДСТВЕ, НАУЧНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ И В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ»**

УДК 519.872.8:004.7

DOI: 10.30987/conferencearticle_5c19e6a7096643.43707687

К.А. Батенков

(г. Орёл, Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ
ОЧЕРЕДЕЙ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ
В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ RIVERBED**

Представлен подход к имитационному моделированию процессов диспетчеризации пакетов на примере простейшей сети связи в программной среде Riverbed.

Presents an approach to simulation of processes of dispatching packets on a simple example of communication networks in the software environment of the Riverbed.

Ключевые слова: имитационное моделирование, алгоритм диспетчеризации, приоритетное обслуживание, взвешенное справедливое обслуживание, Riverbed.

Keywords: simulation modeling, scheduling algorithm, priority service, weighted fair service, Riverbed

В работе проведено экспериментальное исследование параметров мультисервисного трафика данных и показателей качества его обслуживания на имитационной модели транспортной сети [1].

Топология сети представлена на рис. 1 [2, 3].

В исследовании определялись параметры при различных значениях среднего размера пакетов. Варьирование среднего размера пакетов выполняется изменением поля **Average Packet Size (Bytes)** первого потока. Смена алгоритма диспетчеризации осуществляется путем изменения значения полей **Type** и **Name** из выпадающих списков **IP**, **IP QoS Parameters**, **Interface Information** и **QoS Scheme** маршрутизатора **Router** (*ethernet4_slip8_gtwy*). Для алгоритма PQ в поле **Type** устанавливается значение *Priority Queuing*. в поле **Name** – *ToS 2 [Global]*, а для алгоритма WFQ в поле **Type** – *WFQ (Class Based)*, в поле **Name** – *ToS 2 [Global]* [4, 5].

Используемые статистики (среднее время ожидания в очереди для алгоритма PQ: **PQ Queuing Delay (sec)**, для алгоритма WFQ: **WFQ Queuing Delay (sec)**; среднеквадратическое отклонение времени ожидания для

алгоритма PQ: **PQ Queue Delay Variation (sec)**, для алгоритма WFQ: **WFQ Queue Delay Variation (sec)**) находятся в раскрывающихся списках **Object Statistics** окна **Results Browser**. Данные статистики анализировались в режиме усредненных значений по временному окну (*time_window_average*) с началом в момент 5 мин. и окончанием в момент 20 мин.

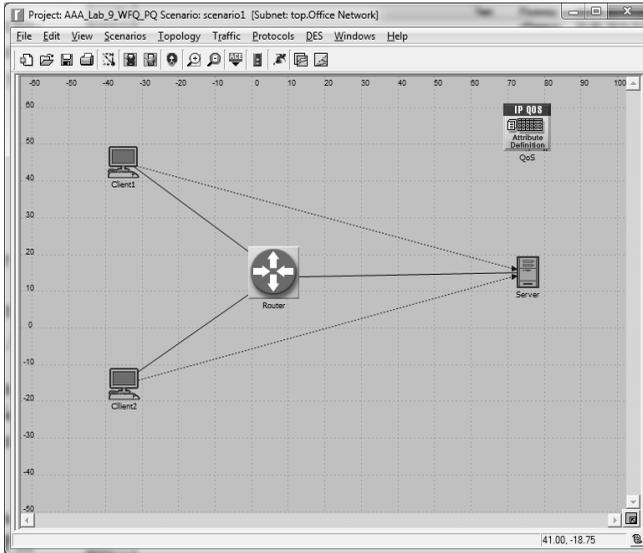


Рис. 1. Топология сети

Графики оцененных зависимостей среднего и среднеквадратического отклонения времени ожидания от среднего размера пакетов первого потока для различных алгоритмов диспетчеризации приведены на рис. 2 и 3.

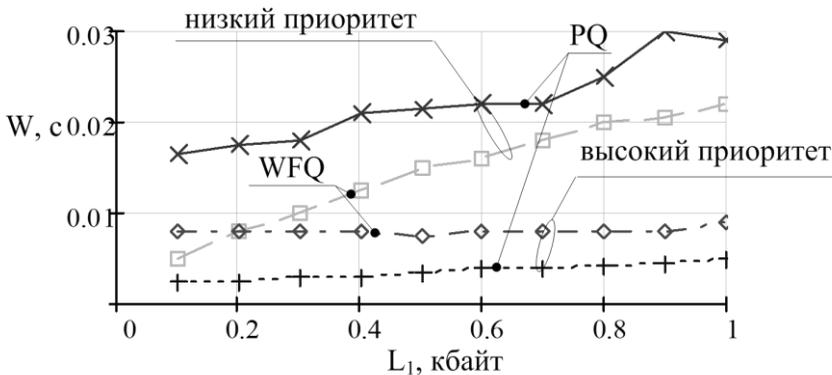


Рис. 2. Зависимости среднего времени ожидания W от среднего размера пакетов первого потока L_1 для различных алгоритмов диспетчеризации

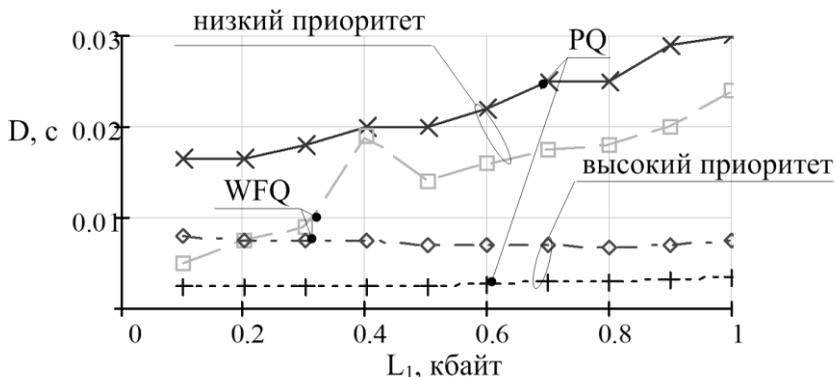


Рис. 3. Зависимости среднеквадратического отклонения времени ожидания D от среднего размера пакетов первого потока L_1 для различных алгоритмов диспетчеризации

Таким образом, наиболее рациональным способом имитационного моделирования с точки зрения эмуляции процедур циркуляции трафика в телекоммуникационной сети является решение [6], которое предусматривает имитацию сетевых устройств и линий связи как единых модулей с набором параметров, задающих особенности их функционирования.

Список литературы

1. Sethi A. S. The Practical OPNET User Guide for Computer Network Simulation / Adarshpal S. Sethi, Vasil Y. Hnatyshin // CRC Press Taylor & Francis Group, 2013. – 480p.
2. Чечик, В.В. Имитационное моделирование трафика HTTP с помощью программной среды Riverbed / В.В. Чечик, К.А. Батенков // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – 2016. – Т. 1. – № 9. – С. 273–277.
3. Батенков, К.А. Общие подходы к анализу и синтезу структур сетей связи // Современные проблемы телекоммуникаций: материалы Российской научно-технической конференции. – 2017. – С. 19–23.
4. Батенков, К.А. Числовые характеристики структур сетей связи // Труды СПИИРАН. – 2017. – № 4 (53). – С. 5–28.
5. Hawa M. M/G/FQ: Stochastic Analysis of Fair Queuing Systems / Moh.Hawa and David W. Petr. – 14 p.
6. Батенков, К.А. К вопросу оценки надежности двухполюсных и многополюсных сетей связи // Современные проблемы радиоэлектроники: сб. науч. тр. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. – С. 604–608.

Материал поступил в редколлегию 22.09.18.

К.В. Быков, Н.М. Лазарева, Ю.В. Павлов, В.М. Яров
(г. Чебоксары, ООО НПП ЭКРА,
Чувашский государственный университет)

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В LLC-КОНВЕРТОРЕ С ФИМ-УПРАВЛЕНИЕМ

Моделированием в Simulink Matlab получены кривые разгона преобразователя по напряжению нагрузки, первичному току силового трансформатора и выпрямленному выходному току. Определены параметры модели конвертора в виде передаточных функций.

Simulation in Simulink Matlab obtained acceleration curves of the converter for the load voltage, the primary current of the power transformer and the rectified output current. The parameters of the converter model are defined as transfer functions.

Ключевые слова: LLC-конвертор, кривая разгона, передаточная функция, моделирование в Simulink.

Keywords: LLC-converter, acceleration curve, transfer function, simulation in Simulink.

Для построения замкнутой системы управления электрическим режимом преобразователя необходимо знать передаточные функции объекта управления. Наиболее просто информацию о параметрах передаточных функций можно получить на основе кривых разгона, полученных в результате имитационного моделирования [1]. Simulink-модель LLC-конвертора с ФИМ управлением приведена на рис. 1.

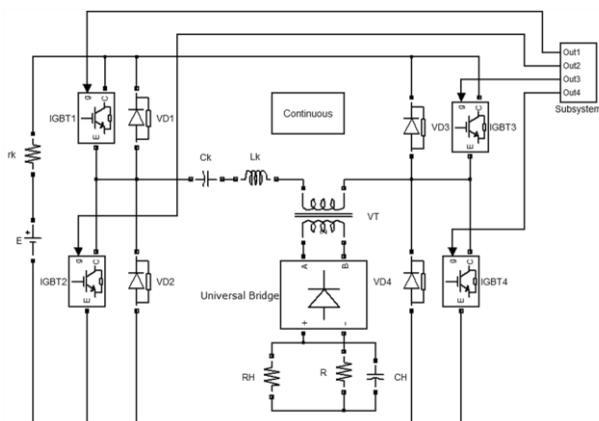


Рис. 1. Simulink-модель LLC-конвертора с разомкнутой системой управления

Кривая разгона представляет собой переходный процесс изменения тока или напряжения преобразователя, работающего в установившемся режиме, при подаче скачка возмущающего воздействия. В общем случае возмущение может выражаться в изменении напряжения питания, сопротивления нагрузки и т.п. Для конвертора с ФИМ-управлением можно изменять значение фазового сдвига, подавая возмущение по цепи управления.

Нормированный динамический процесс изменения среднего значения напряжения нагрузки *LLC*-конвертора приведен на рис. 2. По виду кривой разгона можно предположить, что преобразователь может быть моделирован колебательным звеном. Параметры передаточной функции колебательного звена можно определить по кривой разгона по следующим простым соотношениям [2]:

$$T = \frac{1}{\sqrt{\omega_k^2 + \gamma^2}}; \xi = T\gamma,$$

где $\omega_k = \frac{2\pi}{T_k}; \gamma = \frac{\ln(A_1/A_3)}{T_k}.$

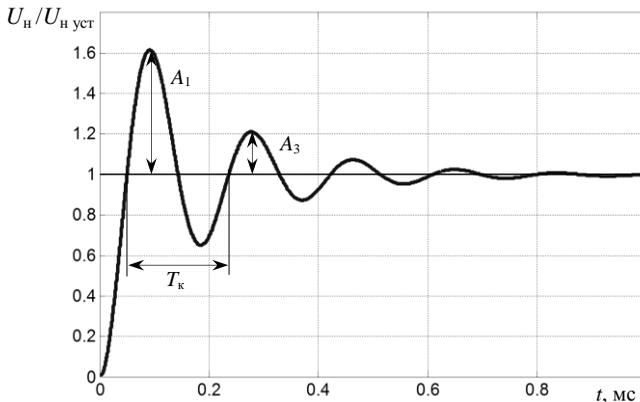


Рис. 2. Нормированная кривая разгона *LLC*-конвертора по напряжению нагрузки

В результате получим, что по напряжению нагрузки *LLC*-конвертор может быть представлен следующей нормированной передаточной функцией:

$$W_{U_n}(p) = \frac{1}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}, \tag{1}$$

где $T = 2,9214 \cdot 10^{-5}$ – постоянная времени колебательного звена;
 $\xi = 0,1678$ – коэффициент затухания.

На рис. 3 показана модель вычислительного эксперимента и его результат – аппроксимация экспериментальной кривой разгона напряжения нагрузки переходной характеристикой колебательного звена (1). В принятом на рисунке масштабе кривые практически совпадают, что свидетельствует о достоверности моделирования LLC-конвертора по напряжению нагрузки колебательным звеном с приведенными выше параметрами.

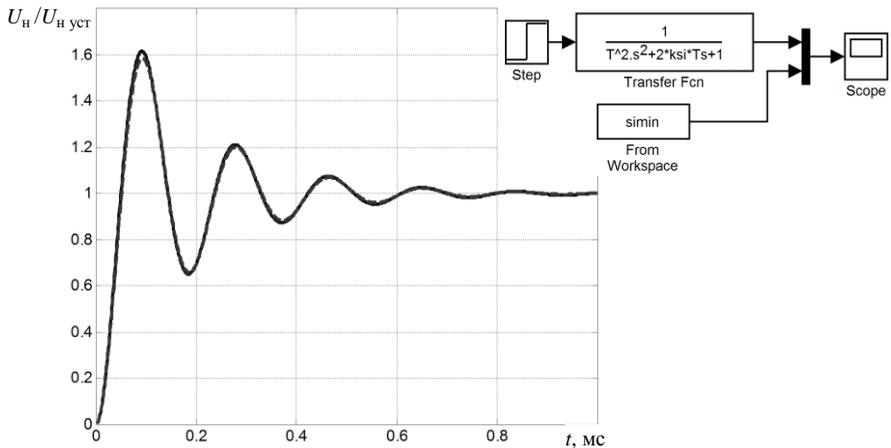


Рис. 3. Вычислительный эксперимент аппроксимации экспериментальной кривой разгона напряжения нагрузки (синяя сплошная линия) переходной характеристикой колебательного звена (1) (красная пунктирная линия)

Нормированная кривая разгона LLC-конвертора по среднему значению выпрямленного выходного тока представлена на рис. 4 сплошной синей линией. Из рисунка следует, что в данном случае одного только колебательного звена для построения модели преобразователя будет недостаточно – в начале переходного процесса ток резко нарастает, т.е. имеет место форсирование режима. Таким образом, по выпрямленному выходному току кривая разгона конвертора моделируется динамической переходной характеристикой звена

$$W_{I_d}(p) = \frac{\tau p + 1}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}, \quad (2)$$

где $T = 2,96 \cdot 10^{-5}$ и $\xi = 0,167$ – параметры колебательного звена;
 $\tau = 3,45 \cdot 10^{-4}$ – постоянная времени форсирующего звена.

Аппроксимация переходного процесса LLC -конвертора переходной характеристикой звена (2) приведена на рис. 4 красной пунктирной линией. Модельная кривая практически не отличается от кривой разгона тока I_d , т.е. допустимо моделировать преобразователь по выпрямленному выходному току звеном (2).

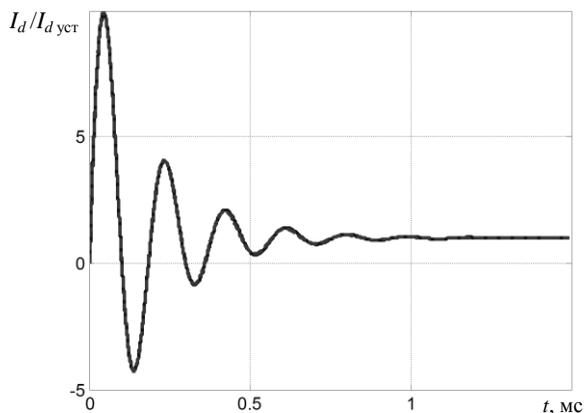


Рис. 4. Нормированная кривая разгона LLC -конвертора по выпрямленному выходному току (сплошная синяя линия) и ее модель переходной характеристикой звена (2) (красная пунктирная линия)

Выводы: по напряжению нагрузки кривая разгона LLC -конвертора с ФИМ управлением может быть аппроксимирована переходной характеристикой колебательного звена, а по выпрямленному выходному току – переходной характеристикой звена, полученного последовательным соединением реального форсирующего и колебательного звеньев.

Список литературы

1. Лазарева, Н.М. Компьютерное моделирование резонансных инверторов / Н.М. Лазарева, В.М. Яров. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2011. – 498 с.
2. Гольдфарб, Л.С. Теория автоматического управления / Л.С. Гольдфарб, А.В. Балтрушевич, А.В. Нетушила и др. – М.: Высш. шк., 1976. – 216 с.

Материал поступил в редколлегию 11.10.18.

К.В. Быков, Н.М. Лазарева, Ю.В. Павлов, В.М. Яров
(г. Чебоксары, ООО НПП ЭКРА,
Чувашский государственный университет)

ПОНИЖАЮЩЕ-ПОВЫШАЮЩИЙ КОНВЕРТОР КАК ЗВЕНО СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Определены передаточные функции понижающе-повышающего конвертора по напряжению нагрузки и по току дросселя. Рассчитаны параметры ПИ-регуляторов электрического режима. Представлены результаты моделирования в Simulink Matlab.

The transfer functions of the down-boost converter are determined by the load voltage and the choke current. The parameters of PI-regulators of electric mode are calculated. Presents simulation results in Simulink Matlab.

Ключевые слова: понижающе-повышающий конвертор, передаточная функция, ПИ-регулятор, моделирование в Simulink.

Keywords: down-boost converter, transfer function, PI-regulator, simulation in Simulink.

Источники питания на основе понижающе-повышающих преобразователей незаменимы в тех случаях, когда напряжение на входе источника во время его работы может быть как ниже, так и выше выходного напряжения. Особенно востребованы такие преобразователи в промышленных установках с питанием от аккумуляторных батарей, напряжение которых к концу срока службы может отличаться от напряжения «свежей» батареи на десятки вольт.

Понижающе-повышающий конвертор можно получить, соединяя последовательно понижающий и повышающий преобразователи, но такая схема будет содержать четыре транзистора. Как вариант можно использовать конвертор типа *Sepic* с одним транзистором, слабым звеном этого решения является наличие разделительного конденсатора. Более простую конструкцию имеет конвертор [1], Simulink-модель двухтактной реализации которого приведена на рис. 1.

Источник питания на основе понижающе-повышающего конвертора должен обеспечивать стабилизацию напряжения нагрузки при его изменении вследствие различного рода возмущений. Требуемое качество переходных процессов можно обеспечить введением соответствующих обратных связей, т.е. использованием замкнутых систем управления. Для построения замкнутой системы необходимо знать передаточную функцию конвертора как звена системы управления.

Вид и параметры передаточных функций конвертора можно определить по кривым разгона.

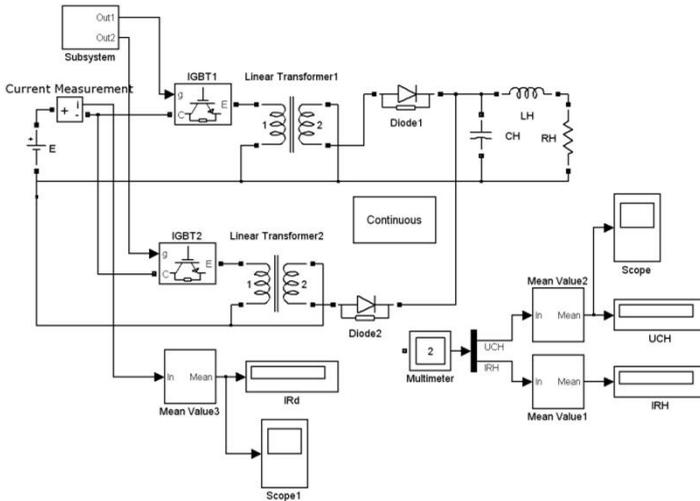


Рис. 1. Simulink-модель двухтактного понижающе-повышающего конвертора

Пусть требуется поддерживать режим работы преобразователя по току, потребляемому от сети, и по напряжению нагрузки. Для построения модели конвертора в виде передаточной функции снимем кривые разгона по соответствующим параметрам. На рис. 2 приведена кривая переходного процесса изменения среднего значения напряжения нагрузки конвертора до и после возмущающего скачка. Крупно показан начальный участок кривой разгона, на котором хорошо видно, что после скачка, поданного по управляющему воздействию в момент времени $t = 6$ мс, напряжение имеет «провал» длительностью $t_3 = 0,313$ мс, что является проявлением наличия неминимальнофазового звена.

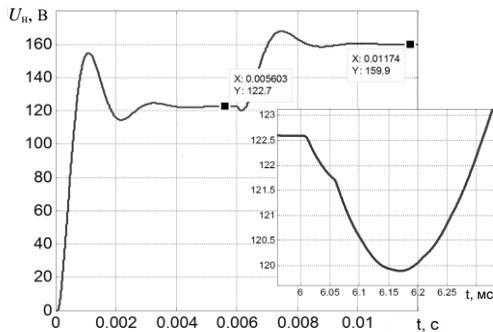


Рис. 2. Переходный процесс напряжения нагрузки двухтактного понижающе-повышающего конвертора

Нормированные кривые разгона тока $I_d^* = I_d / I_{dуст.}$ и напряжения нагрузки $U_n^* = U_n / U_{нуст.}$ представлены на рис. 3.

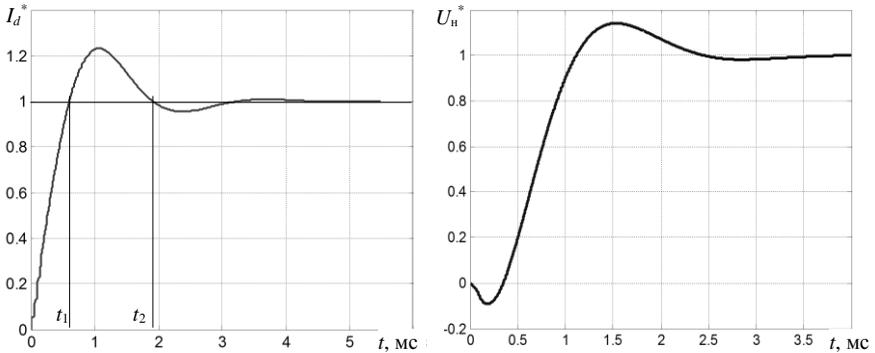


Рис. 3. Нормированные кривые разгона конвертора по току I_d и напряжению нагрузки

Кривая разгона по току I_d имеет быстро затухающий колебательный характер и скоростной подъем на начальном участке, поэтому можно сделать вывод о возможности аппроксимации ее переходной характеристикой последовательного соединения идеального форсирующего и колебательного звеньев.

Параметры колебательного звена определяются следующим образом [2]:

коэффициент затухания $\xi = -\cos\left(\frac{t_1}{t_2 - t_1} \pi\right),$

постоянная времени

$$T = \frac{t_2 - t_1}{\pi} \sin\left(\frac{t_1}{t_2 - t_1} \pi\right).$$

Постоянную времени форсирующего звена можно определить по наклону касательной в начальной точке кривой разгона.

Кривая разгона по напряжению нагрузки может быть аппроксимирована переходной характеристикой звена, полученного последовательным соединением неминимальнофазового и колебательного звеньев. Постоянная времени неминимальнофазового звена определяется аналогично таковой для форсирующего звена.

В итоге получим, что по току, потребляемому от сети, конвертор как объект управления может быть моделирован передаточной функцией

$$W_{I_d}(p) = \frac{2 \cdot 10^{-4} p + 1}{1,36 \cdot 10^{-7} p^2 + 2 \cdot 0,47 \cdot 3,69 \cdot 10^{-4} p + 1}, \quad (1)$$

а по напряжению нагрузки – звеном

$$W_{U_n}(p) = \frac{1 - 2,15 \cdot 10^{-4} p}{1,406 \cdot 10^{-7} p^2 + 2 \cdot 0,55 \cdot 3,75 \cdot 10^{-4} p + 1}. \quad (2)$$

На рис. 4 приведено сравнение переходных характеристик звеньев (1) и (2) с соответствующими кривыми разгона, подтверждающее достоверность использования указанных передаточных функций как объектов управления при разработке регуляторов режима двухтактного понижающе-повышающего конвертора.

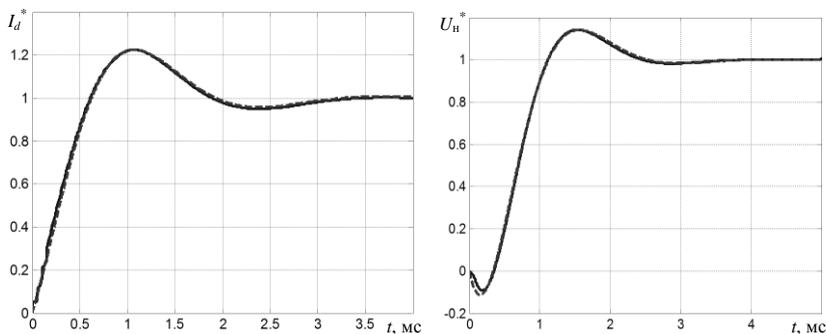


Рис. 4. Аппроксимация кривых разгона конвертора (синие сплошные линии) по току I_d и напряжению нагрузки переходными характеристиками (красный пунктир) звеньев (2) и (3) соответственно

В качестве примера на рис. 5 приведена кривая разгона тока I_d конвертора с замкнутой системой управления – переходный процесс без перерегулирования, близкий к апериодическому. Параметры ПИ-регулятора контура тока $K_{II} = 0,7$, $K_{I} = 744$ рассчитаны с использованием передаточной функции (1) как звена системы управления. Аналогичный результат получен и для контура напряжения нагрузки.

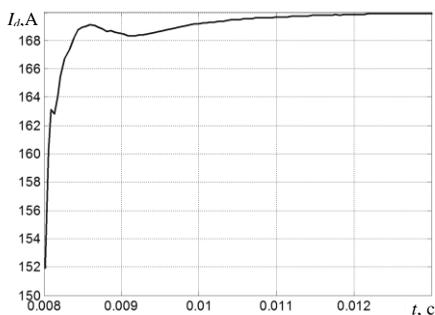


Рис. 5. Переходный процесс тока I_d в конверторе с контуром регулирования тока, потребляемого из сети

Список литературы

1. Арройо Гектор. Индукторы с отводом для простых и компактных повышающе-понижающих преобразователей / Гектор Арройо // Компоненты и технологии. – 2011. – № 8. – 204 с.
2. Шаварин, Н. Двухфазный повышающий конвертор как звено системы автоматического управления / Н. Шаварин, В. Яров, Н. Лазарева // Силовая электроника. 2015, – № 3. – С. 40–46.

Материал поступил в редколлегию 12.10.18.

Д.Г. Гадашев, А.Н. Школин

(г. Брянск, Брянский государственный технический университет)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНВЕРТОРА С ВЕКТОРНОЙ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Разобран принцип работы векторной ШИМ. Произведено моделирование инвертора с векторной ШИМ. Получена выходная зависимость тока и напряжения от времени в трёхфазной нагрузке. С использованием алгоритма быстрого вычисления дискретного преобразования Фурье изучен гармонический состав выходных сигналов трёхфазного инвертора.

Disassembled the principle of vector PWM. The simulation of the inverter with vector PWM is made. The output dependence of current and voltage on time in a three-phase load is obtained. The harmonic composition of the output signals of a three-phase inverter is studied using an algorithm for fast calculation of the discrete Fourier transform.

Ключевые слова: векторная ШИМ, трёхфазный инвертор, выходная зависимость, гармонический анализ.

Keywords: vector PWM, three-phase inverter, output dependence, harmonic analysis.

Принцип работы векторной широтно-импульсной модуляции

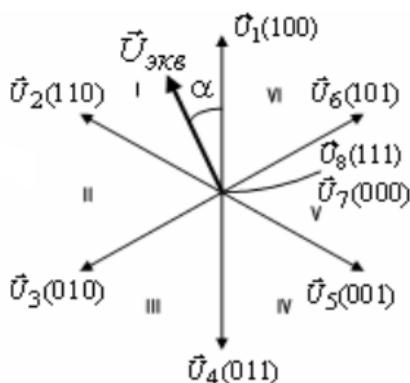


Рис.1 Векторная диаграмма выходных напряжений инвертора

В настоящее время метод векторной широтно-импульсной модуляции широко применяется в управлении активными трёхфазными преобразователями. Данный метод заключается в векторном представлении совокупности выходных напряжений (рис.1) инвертора и ориентирован на микропроцессорную реализацию.

Предполагая, что ключи инвертора напряжения в одной фазе нагрузки работают строго в противофазе и их переключение происходит мгновенно, инвертор можно представить в виде трёх

двухпозиционных ключей, каждый из которых подключает

соответствующую фазу нагрузки либо к положительному, либо к отрицательному полюсу источника постоянного напряжения в зависимости от вектора входных сигналов управления. Всего имеется 6 векторов, отличных от нуля (значащих), и два нулевых, которые соответствуют подключению всех фаз нагрузки к отрицательному либо к положительному полюсу источника.

Каждый вектор характеризуется уникальным трёхразрядным двоичным кодом состояния. Алгоритм формирования выходного напряжения инвертора заключается в последовательности включения образующих векторов напряжения. Любой алгоритм характеризуется своей элементарной комбинацией векторов напряжения [1].

Моделирование инвертора с векторной широтно-импульсной модуляцией

Для моделирования алгоритма векторной широтно-импульсной модуляции воспользуемся Matlab Simulink. На рис. 2 представлена модель, состоящая из блоков. В данной модели используется m-файл, в котором содержится код формирования образующих векторов напряжения и поочередность их включения, связанные определёнными временными соотношениями [2]. Этот алгоритм складывается из совокупности повторяющихся элементарных циклов.

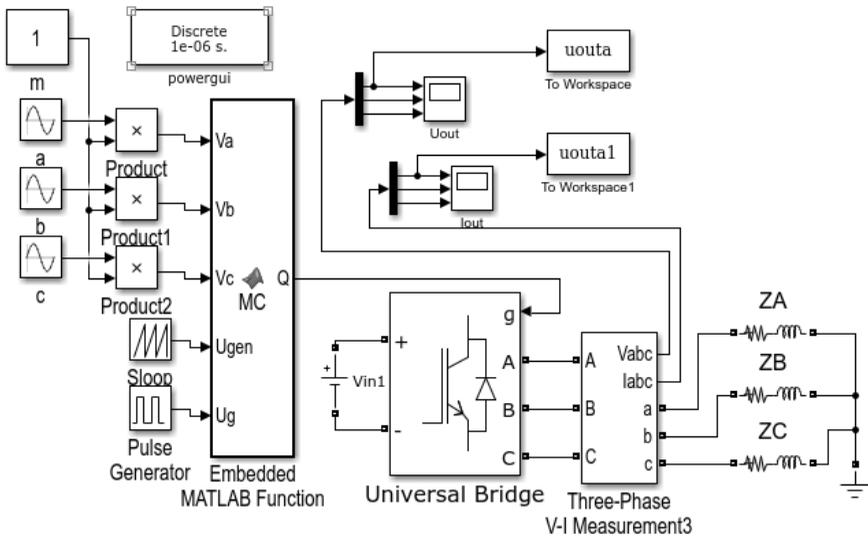


Рис.2 Блок-схема моделирования инвертора с векторной широтно-импульсной модуляцией

Комбинация состояний ключей в трёхфазном мосту относительно времени определяет выходную зависимость напряжения (рис.3) и тока (рис.4) от времени [3].

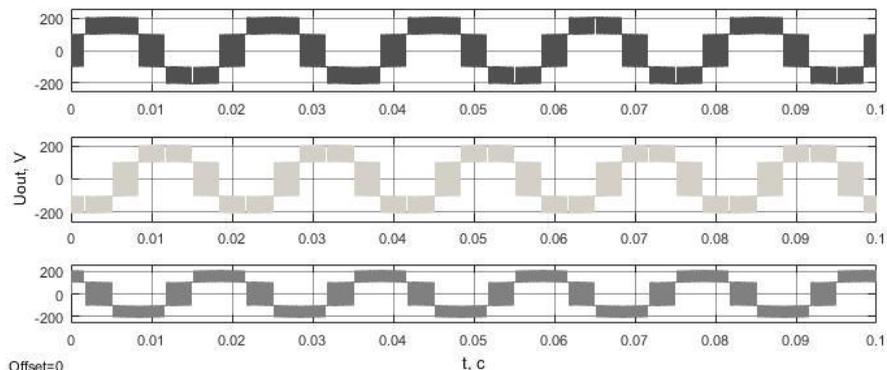


Рис.3 Выходная зависимость напряжения от времени

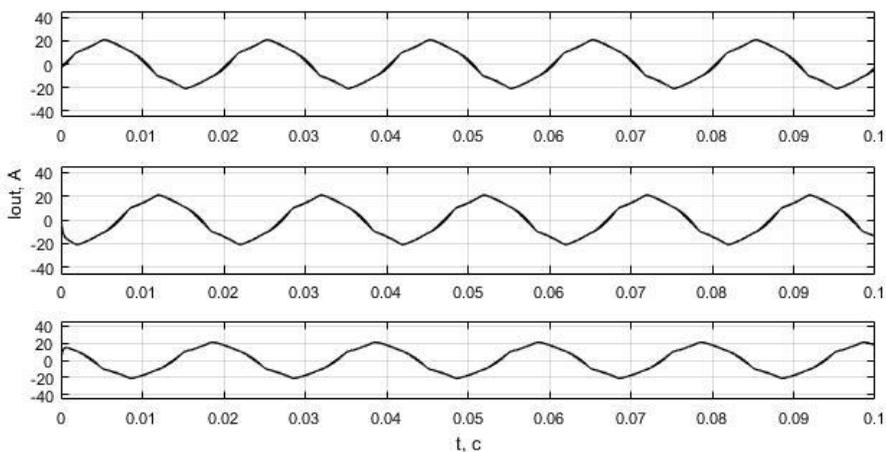


Рис.4 Выходная зависимость тока от времени

Гармонический анализ выходных сигналов

Для оценки качества полученных выходных зависимостей было произведено быстрое преобразование Фурье полученных выходных сигналов одной из фаз нагрузки (рис.5 и рис.6), при использовании встроенной функции Powergui FFT Analysis Tool [4]. Для этого были указаны параметры начала временного интервала, числа периодов исследуемого сигнала, базовой частоты, максимальной частоты и градуировки оси частот.

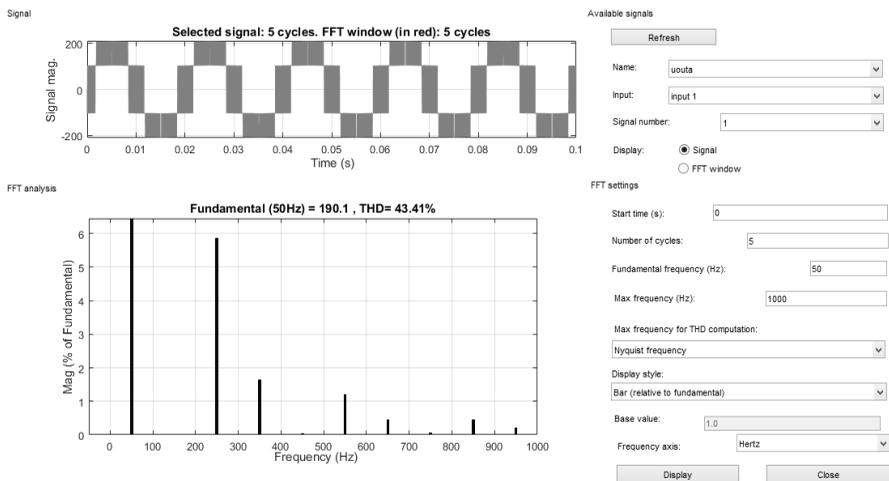


Рис.5 Гармонический анализ выходного напряжения одной из фаз нагрузки

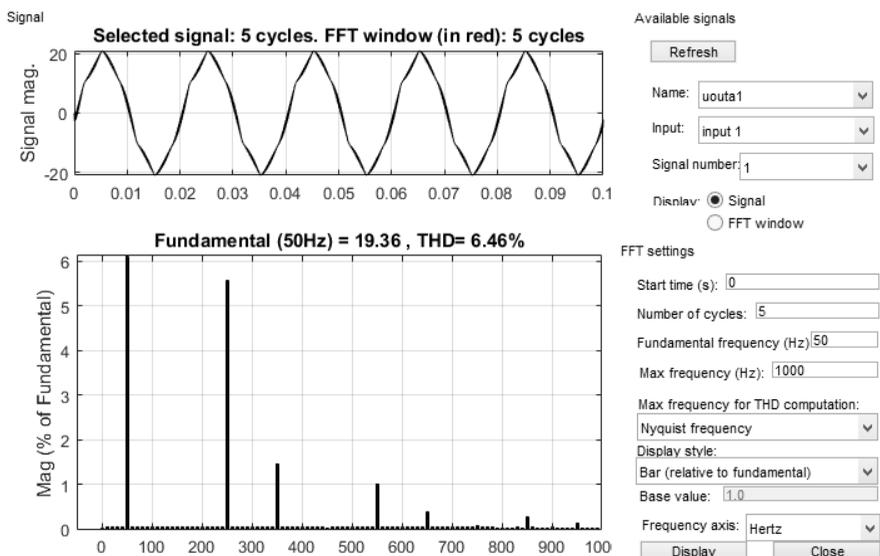


Рис. 6 Гармонический анализ тока, протекающего в одной из фаз нагрузки

Заключение

В процессе выполнения работы был разобран принцип работы векторной ШИМ. Произведено моделирование инвертора с векторной ШИМ. При помощи гармонического анализа выходных сигналов были определены коэффициенты гармоник. Суммарные гармонические искажения выходного напряжения при базовой частоте 50 Гц равны 41,41%, а ТДН тока в фазе нагрузки – 6,46%.

Список литературы

1. *Виноградов, А.Б.* Векторное управление электроприводами переменного тока/ ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».– Иваново, 2008.–298 с.
2. *Изосимов, Д.Б.* Симплексные алгоритмы управления трёхфазным автономным инвертором напряжения с ШИМ/ Д.Б. Изосимов, С.Е. Рывкин, С.В. Шевцов // Электротехника. – 1993 –№ 12 – С. 14–20.
3. *Gupta A.K., Khambadkone A.M.* A General SpaceVector PWM Algorithm for Multilevel Inverters Including Operation in Overmodulation Range // IEEE Transactions on Power Electronics. – March, 2007 – Vol. 22 – No. 2 – P. 517–526.
4. *Соколовский, Г.Г.* Электроприводы переменного тока с частотным регулированием/ Г.Г. Соколовский // Академия. – 2006 – С. 90-98.

Материал поступил в редколлегию 21.10.18.

УДК 004.942

DOI: 10.30987/conferencearticle_5c19e6aa9961a0.51597313

Э.Х. Галиев, А.И. Гилязов, Р.Р. Умутбаев
(г. Казань, Казанский национальный исследовательский технический
университет имени А. Н. Туполева – КАИ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Рассмотрено моделирование системы стабилизации изображения с использованием программы MatLab. Получены переходные характеристики в системе Simulink, такие как время переходного процесса и погрешности: по наведению, вибрации, момента нагрузки и качки.

In this paper, the program MatLab was used to simulate the image stabilization system. Also, this program was used to obtain transient characteristics in the Simulink system. As a result, transient characteristics of the system were obtained, such as the time of the transition process and the error: by guidance, vibration, load moment and pitching.

Ключевые слова: погрешности, схема, характеристики, моделирование.
Keywords: errors, scheme, characteristics, modeling.

На рис. 1 представлена схема моделирования для данной работы [1].

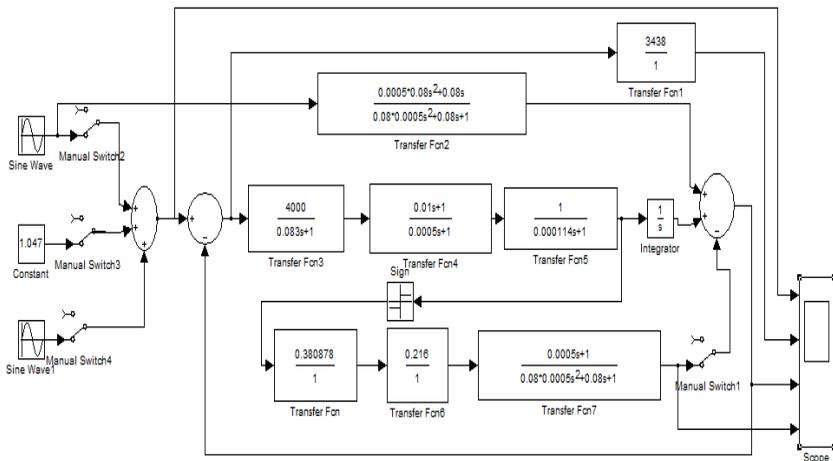


Рис. 1. Схема моделирования

В результате моделирования в среде Simulink были получены переходные характеристики (рис. 2-5), при следующих воздействиях [2]:

1. Наведения.
2. Вибрации.
3. Момента нагрузки.
4. Качки.
5. Вибрации, качки, наведения и момента нагрузки.

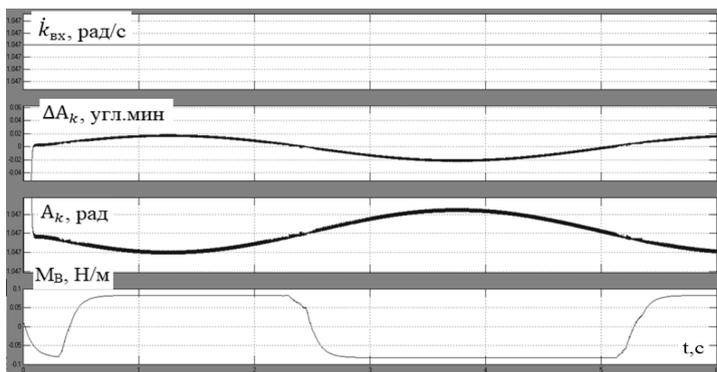


Рис. 2. Переходные характеристики при воздействии наведения

Погрешность по наведению равна $\Delta A_{k_H} = 0,02'$.

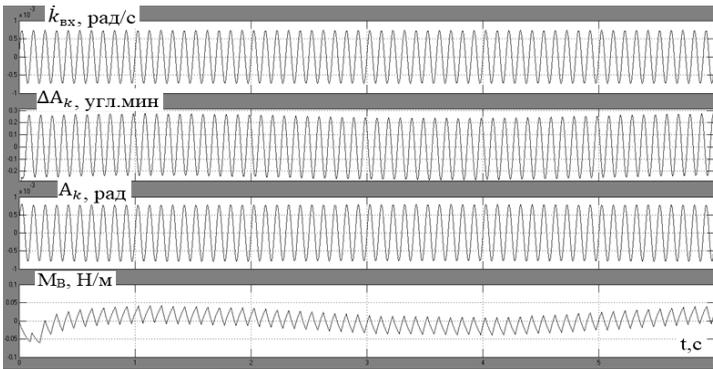


Рис. 3. Переходные характеристики при воздействии вибраций

Погрешность по вибрации составляет $\Delta A_{k_B} = 0,25'$.

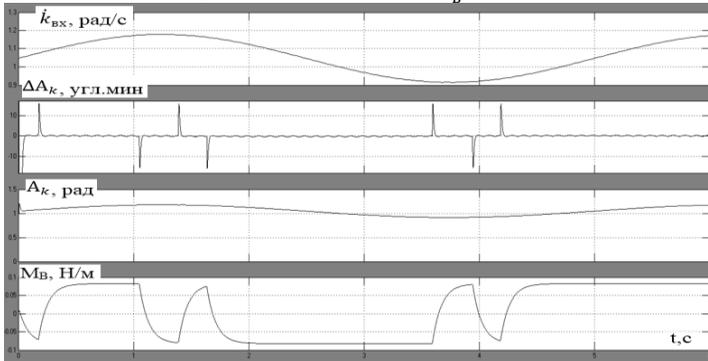


Рис. 4. Переходные характеристики при воздействии момента нагрузки

Погрешность по моменту нагрузки $\Delta A_{k_{M_B}} = 0,735'$.

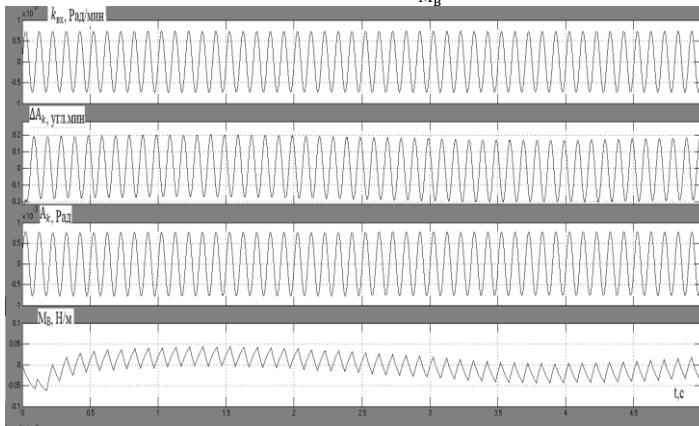


Рис. 5. Переходные характеристики при воздействии качки

Погрешность по качке равна $\Delta A_k = 0,4'$.

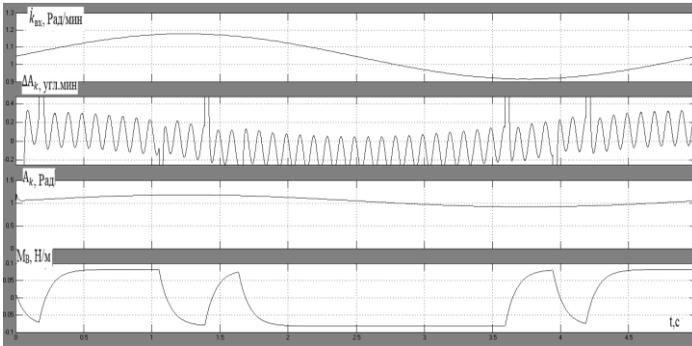


Рис. 6. Переходные характеристики при воздействии вибрации, качки, наведения и момента нагрузки

Исходя из рис. 2-5, созданных при помощи программы MatLab, были получены следующие данные [4].

Погрешности:

1. Наведение: $\Delta A_{k_H} = 0,02'$
2. Вибрация: $\Delta A_{k_B} = 0,25'$
3. Момент нагрузки: $\Delta A_{k_{M_B}} = 0,735'$
4. Качка: $\Delta A_k = 0,4'$

Время переходного процесса: $\tau = 0,5$ с.

Список литературы

1. Карпов, А.И. Стабилизация изображения бортового ОЭП на базе волоконно - оптических гироскопов./ А.И. Карпов, В.А. Крнев. – Материалы конференции ПРЭФЖС-2017. – Казань, 2017.
2. Воронов, А.А. Основы теории автоматического управления. – М.: Энергия, 1980. – 312 с.
3. Бесекерский, В.А. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления/ Бесекерский В. А., Герасимов А. Н., Лучко С. В., Небылов А. В. – 5-е изд., перераб. – М.: Наука, 1978. – 512 с.
4. Цисарь, И.Ф. MATLAB Simulink. Компьютерное моделирование экономики. / И.Ф. Цисарь. – М.: Солон-Пресс, 2008. – 256 с.

Материал поступил в редколлегию 28.09.18.

В.Ф. Зотин

(г. Брянск, Брянский государственный технический университет)

УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТЬЮ НАРАСТАНИЯ ОБРАТНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ИСПЫТАНИИ ДИОДОВ ШОТТКИ

С помощью компьютерного моделирования подтверждена возможность программного управления скоростью нарастания обратного напряжения при автоматизированном контроле параметров диодов Шоттки.

The possibility of programmed control of the rate of rise of reverse voltage with automated control of the parameters of Schottky diodes was confirmed using computer simulation.

Ключевые слова: моделирование, параметры, диоды Шоттки, автоматизированный контроль.

Keywords: simulation, parameters, Schottky diodes, automated control.

Важным параметром силовых диодов Шоттки является максимально допустимая скорость нарастания обратного напряжения dV/dt . Прежде всего это относится к SiC-диодам, применяемым в силовых электронных преобразователях с режимом жёсткой коммутации. Так, для диода IDM10G120C5 (1200 В, 10 А, Infineon Technologies) производитель гарантирует $dV/dt=80$ В/нс, а для аналогичного по предельным параметрам диода C4D10120A (Wolfspeed) – 200 В/нс.

Для автоматизированного контроля стойкости SiC-диодов Шоттки к dV/dt и их разбраковки по данному параметру испытательное оборудование должно обеспечивать формирование высоковольтных импульсов обратного напряжения с регулируемой амплитудой и управление скоростью нарастания обратного напряжения.

Известны способы формирования импульсов обратного напряжения при испытании силовых диодов Шоттки [1 – 3], но при автоматизированном контроле актуальными являются задачи управления скоростью нарастания обратного напряжения и режимом испытаний, а также защиты испытуемого диода от вторичного пробоя.

Предлагается реализовать возможность программного управления скоростью нарастания обратного напряжения с помощью устройства, схема модели которого в среде Multisim приведена на рис. 1. Фронт обратного напряжения на испытуемом диоде $D1$ формируется при включении транзистора $Q1$. Амплитуда импульсов обратного напряжения задаётся источником напряжения $V3$. Схема содержит дополнительный транзистор $Q2$ и генератор управляющих импульсов $V2$.

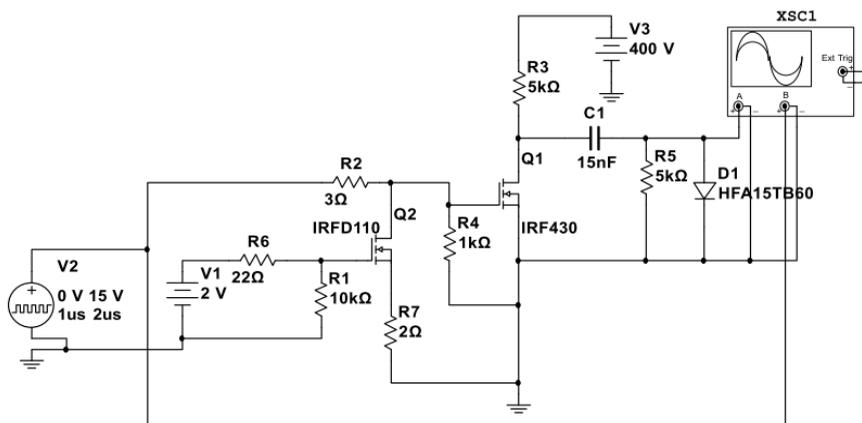


Рис. 1. Схема модели устройства

Элементами, регулирующими скорость нарастания обратного напряжения, являются резистор $R2$ и источник постоянного напряжения $V1$. Резистор $R5$ представляет сопротивление делителя напряжения, используемого обычно при осциллографировании высоковольтных импульсов.

Моделирование устройства с параметрами элементов, указанными на рис. 1, даёт максимальное значение $dV/dt = 133$ В/нс. Так как напряжение источника $V1$ меньше порогового, то влияние транзистора $Q2$ на процесс формирования фронта несущественно. С увеличением сопротивления резистора $R2$ до 12 Ом максимальное значение dV/dt уменьшается до 75 В/нс при слабо выраженной нелинейности регулировочной характеристики.

Недостатком рассмотренного способа управления параметром dV/dt является проблематичность его практической реализации при автоматизированном контроле. Возможности предлагаемого способа управления параметром dV/dt с помощью изменения напряжения источника $V1$ иллюстрируют регулировочные характеристики, полученные с помощью модели и представленные на рис. 2.

Как видно из рис. 2, данный способ также обеспечивает достаточный диапазон значений dV/dt , но ширина диапазона зависит от сопротивления резистора $R2$.

Необходимо отметить влияние сопротивления резистора отрицательной обратной связи $R7$ (рис. 1) на регулировочные характеристики, полученные изменением напряжения $V1$. Уменьшение сопротивления ведёт к расширению диапазона регулирования и увеличению крутизны характеристики. Это может привести к росту погрешности задания параметра dV/dt .

Дополнительными возмущающими факторами, влияющими на точность задания параметра dV/dt , являются задаваемая амплитуда обратного напряжения и собственные параметры испытуемого диода. Так, по результатам моделирования процесса испытания диода HFA15TB60 по схеме рис. 1 при $V1=3 В$ и $V3=400 В$ максимальная скорость нарастания обратного напряжения составляет 110 В/нс, а при $V3=300 В$ она снижается до 86 В/нс. Для диода HFA04TB60 с меньшим рабочим током максимальная скорость соответственно равна 128 В/нс и 100 В/нс.

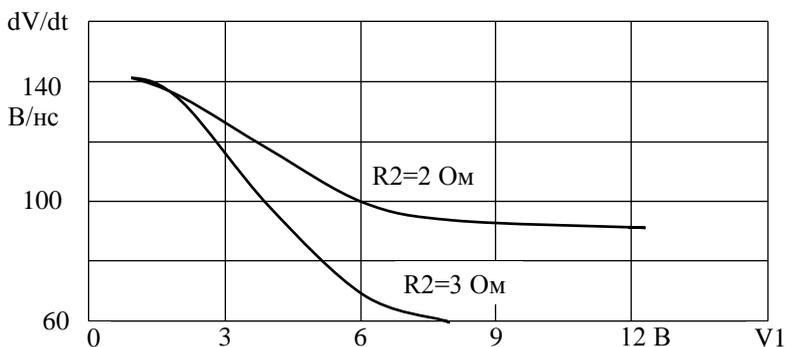


Рис. 2. Регулировочные характеристики при изменении напряжения $V1$

Анализ результатов моделирования формирователя фронта обратного напряжения показывает возможность задания параметра dV/dt с помощью аналогового сигнала (напряжения), что позволяет автоматизировать процесс испытания диодов. Однако задающий сигнал должен формироваться с учётом нелинейности регулировочных характеристик, амплитуды обратного напряжения и типоминнала испытуемого диода. Это требует тщательной калибровки задающего устройства и применения базы данных.

Результаты проведённых исследований использованы при разработке устройства формирования импульсов обратного напряжения в составе тестера для автоматизированного контроля параметра dV/dt SiC-диодов Шоттки.

Список литературы

1. Cree SiC Power White Paper: The Characterization of dV/dt Capabilities of Cree SiC Schottky diodes using an Avalanche Transistor Pulser. Sep. 2015. <https://www.wolfspeed.com/power/tools-and-support/white-papers>.
2. Брюхно, Н. Исследование стойкости SiC-диодов Шоттки ЗАО «ГРУППА КРЕМНИЙ ЭЛ» к скорости нарастания обратного напряжения/ Н. Брюхно, В. Громов, А. Демидов и др. //Силовая электроника. – 2018. – №2. – С.10 – 13.
3. Van Brunt E., Wang G., Liu J. et al. Operation of 4H-SiC Schottky diodes at dV/dt values over 700 kV/ μ s. Proceedings of the 2016 28 th International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs (ISPSD). June 12 – 16, 2016, Prague, Czech Republic.

Материал поступил в редколлегию 15.10.18.

Е.И. Данилкин, А.И. Власов
(г. Брянск, Брянский государственный технический университет)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО РЕВЕРСИВНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ С УДАЛЕННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Представлена модель импульсного реверсивного преобразователя напряжения с системой управления на микросхеме ATMEGA644P и удаленным управлением с ПК через интерфейс USB.

A model of a pulse reversing voltage converter with a ATMEGA644P microcircuit control system and remote control from a PC via a USB interface is presented.

Ключевые слова: импульсный преобразователь напряжения, моделирование, САПР, Proteus, импульсная модуляция, удаленное управление, реверсивный.

Keywords: pulse voltage converter, modeling, CAD, Proteus, pulse modulation, remote control, reversible.

Современные средства отладки электронных систем с микропроцессорным управлением при комплексной отладке требуют возможности обмена данными между различными моделирующими программами и взаимодействием с центральной управляющей ЭВМ. Такие возможности дает моделирующая программа Proteus как для совместной отладки программных и аппаратных средств, так и для взаимодействия по стандартному интерфейсу с внешней управляющей ЭВМ.

В данной работе рассмотрена модель реверсивного преобразователя с удаленным управлением от ЭВМ.

В реверсивном преобразователе постоянного напряжения (рис. 1)

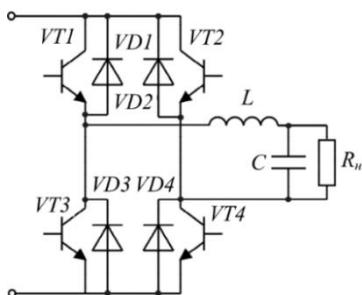


Рис. 1. Схема регулирующего органа с однотактной ОРМ

применяется регулирующий орган на основе ячейки с однотактной однополярной реверсивной модуляцией [1].

Система управления источником питания построена на базе микроконтроллера ATMEGA644P фирмы Atmel. Программа для микроконтроллера написана на языке C в среде программирования AVR Studio 5.0 [2].

Для написания программы для

удаленного управления преобразователем с ПК был использован кроссплатформенный инструментарий разработки ПО *Qt* на языке программирования *C++*. Он позволяет запускать разработанное с его помощью ПО в большинстве современных операционных систем после простой компиляции программы для каждой ОС без изменения исходного кода. Среда *Qt* включает все основные классы, используемые при разработке прикладного программного обеспечения, начиная от элементов графического интерфейса и заканчивая классами для работы с сетью, базами данных и др. *Qt* является полностью объектно-ориентированным, легко расширяемым и поддерживающим технику компонентного программирования [3], [4].

На рис. 2 можно видеть внешний вид интерфейса программы для удаленного управления преобразователем. В окне программы отображаются текущие параметры преобразователя. Программа позволяет выбрать порт связи и задать параметры выходного напряжения.

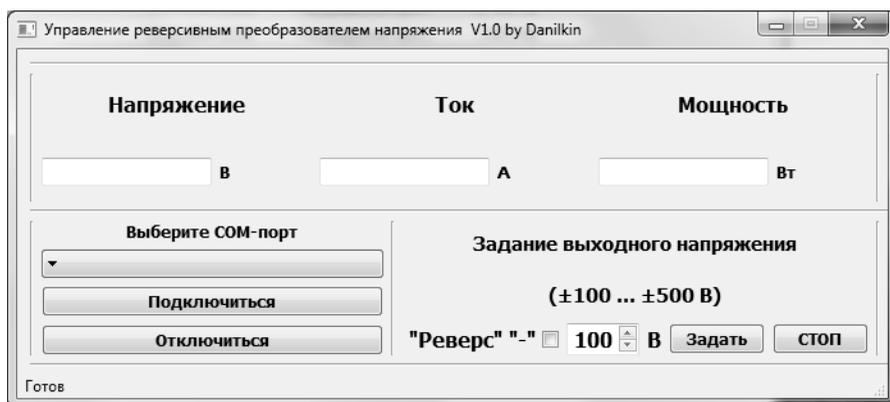


Рис. 2. Программа для удаленного управления преобразователем напряжения

Источник питания полностью смоделирован в среде *Proteus* в режиме реального времени с использованием связи между двумя физическими *COM* портами (рис. 3), один из которых соединен с моделью, а второй с программой управления. Управление преобразователем производится в реальном времени во время работы модели при помощи разработанной программы для ЭВМ (рис. 4).

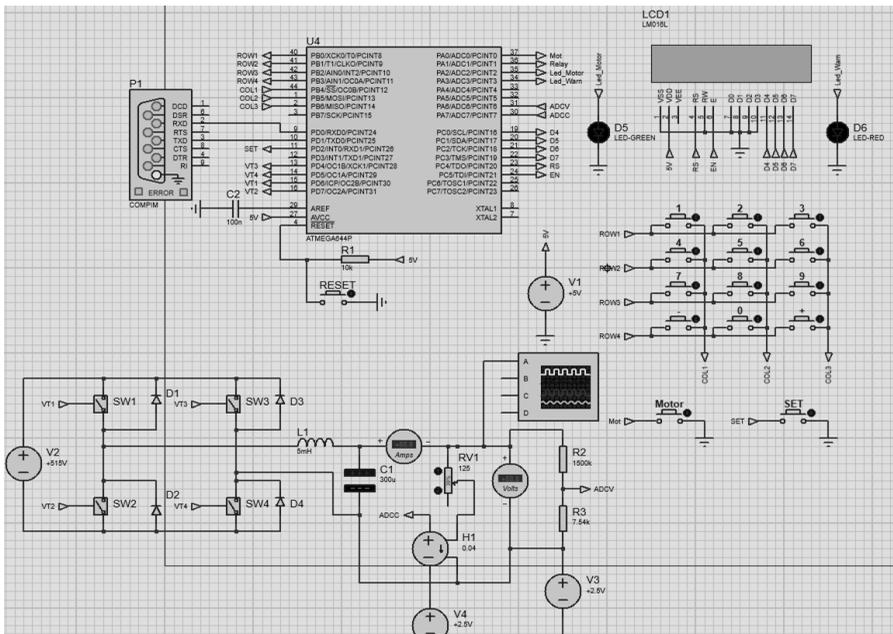


Рис. 3. Модель источника питания в Proteus

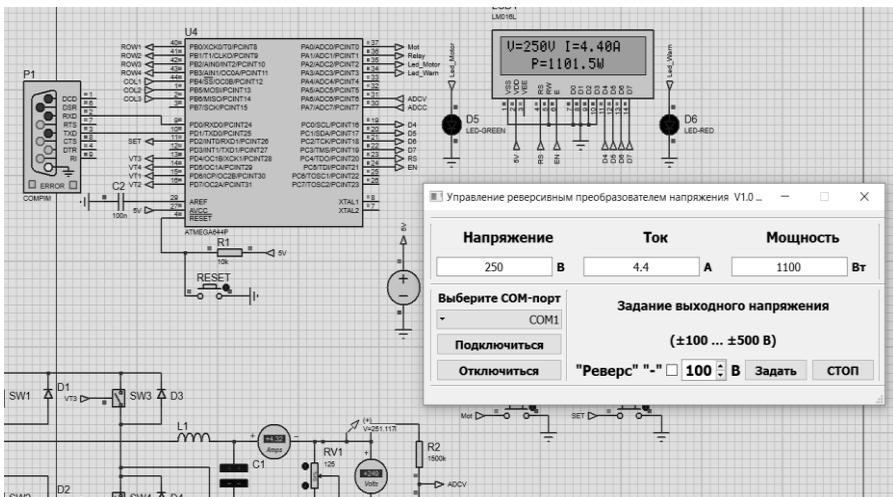


Рис. 4. Работа программы удаленного управления

Таким образом, предложенный вариант моделирования позволяет разработать модель, которая взаимодействует с управляющей программой на ЭВМ через внешний интерфейс. Это существенно сокращает время разработки устройства и снижает его стоимость разработки за счет того, что

нет необходимости изготавливать макет с использованием дорогостоящих электронных компонентов.

Список литературы

1. *Андрянов, А.И.* Транзисторные преобразователи напряжения: Анализ и расчет: учеб. пособие / А.И. Андрянов – Брянск: БГТУ, 2010. – 276 с.
2. *Шпак, Ю.А.* Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров / Ю. А. Шпак – СПб: Корона-Век, 2011. – 544 с.
3. *Саммерфилд, М. Qt.* Профессиональное программирование. Разработка кроссплатформенных приложений на С++ [пер. с англ.]/ М. Саммерфилд.– СПб: Символ-Плюс, 2011. – 560 с.
4. *Шлее, М. Qt 5.3.* Профессиональное программирование на С++ / М. Шлее – СПб: БХВ-Петербург, 2015. – 928 с.

Материал поступил в редколлегию 17.10.18.

УДК 378.016

DOI: 10.30987/conferencearticle_5c19e6ac71bc15.16913988

С.Н. Кихтенко

(г. Таганрог, Таганрогский институт имени А.П.Чехова
(филиал) «РГЭУ (РИНХ)»)

ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА MATHCAD ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Рассмотрена возможность применения Mathcad для моделирования тепловых процессов при изучении технологических дисциплин в педагогическом вузе.

The possibility of using Mathcad for modeling thermal processes in the study of technological disciplines in pedagogical University is considered..

Ключевые слова: изучение тепловых явлений и процессов, применение Mathcad.

Keywords: study of thermal phenomena and processes, application of Mathcad.

Работу преподавателя в современных условиях трудно себе представить без использования в учебном процессе тех или иных компьютерных технологий, в частности таких программных продуктов, как математический пакет Mathcad и других. Mathcad – это одна из наиболее популярных в студенческой среде программ, обладающая достаточно серьезными вычислительными и графическими возможностями [1]. Она используется для

упрощения численных, аналитических расчетов при выполнении лабораторных, практических и курсовых работ, выполнении индивидуальных заданий, написании выпускных квалификационных работ, визуализации полученных результатов, моделировании физических явлений и технологических процессов.

Впервые студенты направления подготовки «Педагогическое образование» (сдвоенный профиль) профили «Физика» и «Технология» обращаются к программе Mathcad при изучении дисциплины «Практикум по моделированию тепловых процессов». Цель ее – первое знакомство с тепловыми явлениями, которые являются важными составляющими целого ряда технологических процессов и играют заметную роль в работе различных тепловых машин и устройств.

Здесь моделируются задачи стационарной теплопроводности через плоские, цилиндрические и шаровые стенки, теплопроводность тел с внутренними источниками теплоты [2, 3]. Затем рассматривается конвективный и лучистый теплообмен между телами, моделируется процесс теплопередачи через стенки и их теплоизоляция. Далее следует нестационарная теплопроводность с аналитическими и приближенными методами расчета. Завершается изучение дисциплины моделированием нагрева металла под закалку и под обработку давлением. Таким образом, будущие учителя физики и технологии могут оценить многообразие и роль тепловых явлений как в окружающей жизни, так и в организации различных технологических процессов. При этом быстрое получение расчетного результата, его наглядного графического представления обеспечивается применением математического пакета Mathcad, в нашем случае – его версии Mathcad15 [1].

Ниже (рис. 1) показана одна из иллюстраций к таким расчетам – распределение температуры в двухслойной футеровке при нагреве стальной заготовки под штамповку в цилиндрическом индукторе. Эта задача рассматривается в разделе о нагреве металла под обработку давлением. Индуктор оснащён футеровкой из шамотных втулок толщиной 10 мм и листового асбеста толщиной 4 мм [4]. Температура на внутренней и внешней поверхности футеровки соответственно 1250°C и 50°C при стационарном тепловом режиме.



Рис. 1. График распределения температуры в футеровке $T_f(d)$ как функции диаметра d

Задачи такого рода рассматриваются и магистрами, обучающимися по магистерской программе «Технология», как на занятиях, так и при написании выпускных квалификационных работ.

Следует отметить, что наибольший интерес у студентов вызывает возможность создания анимационных роликов в Mathcad, с последующим их сохранением как видеофайлов, которые можно затем просматривать на компьютере. В изучаемых курсах наиболее подходящим для этого является раздел, в котором рассматриваются нестационарные задачи теплопроводности, где наблюдается непрерывное изменение температуры во времени. При этом, варьируя значения различных физических величин, входящих в расчетные формулы, получают множество различных вариантов меняющейся температуры, которые записываются в видеофайлы. При необходимости их можно демонстрировать в школе на уроках по физике и технологии во время прохождения педагогической практики или работая учителем после окончания института.

Список литературы

1. Кирьянов, Д.В. Mathcad 15/ Mathcad Prime 1.0/ Д.В. Кирьянов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 432 с.
2. Исаченко, В.П. Теплопередача: учебник для вузов/ В.П. Исаченко и др. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.
3. Краснощеков, Е.А. Задачник по теплопередаче: учебное пособие для вузов/ Е.А. Краснощеков, А.С. Сукомел. – М.: Энергия, 1980. – 288 с.
4. Безручко, И.И. Индукционный нагрев для объемной штамповки/ И.И. Безручко. – Л.: Машиностроение, 1987. – 126 с.

Материал поступил в редколлегию 12.10.18.

С.Н. Кихтенко
(г. Таганрог, Таганрогский институт имени А.П.Чехова (филиал)
«РГЭУ (РИНХ)»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В MATHCAD ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

Представлен один из вариантов использования Mathcad для моделирования физических процессов при изучении электродинамики в педагогическом вузе.

One of the variants of using Mathcad for modeling physical processes in the study of electrodynamics in pedagogical University is presented.

Ключевые слова: моделирование физических процессов, Mathcad, изучение электродинамики.

Keywords: modeling of physical processes, Mathcad, study of electrodynamics.

Опыт работы по подготовке будущих учителей физики показывает, что, наряду с традиционными методами преподавания (лекции, практические и семинарские занятия, лабораторные работы), появляется необходимость использования в учебном процессе современных компьютерных технологий. Это касается и использования сети Интернет, электронных библиотечных систем, виртуальных лабораторий и т.д. С одной стороны, это способствует подготовке учителей физики, владеющих, в достаточной степени, различными компьютерными технологиями, с другой стороны, это готовит их к работе в современных школах, компьютерная оснащённость которых порой оказывается лучше, чем в вузе. Для упрощения численных, аналитических расчетов при выполнении лабораторных и курсовых работ, выполнении индивидуальных заданий, визуализации полученных результатов, моделирования физических процессов и явлений следует обращаться к современным компьютерным математическим пакетам. К числу наиболее распространенных в студенческой среде таких программных продуктов относится Mathcad, обладающий достаточно простым и «дружелюбным» интерфейсом и в то же время прекрасными вычислительными и графическими возможностями [1].

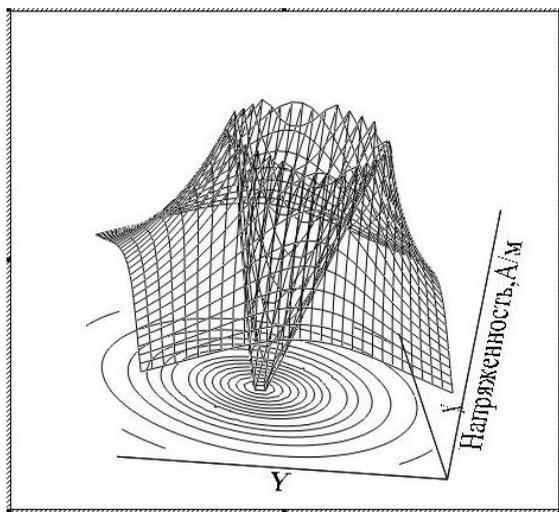
Впервые студенты обращаются к компьютерным моделям при изучении дисциплины «Скалярные и векторные физические поля», где им приходится строить эквипотенциальные поверхности и линии уровня, векторные линии и векторные поля. Здесь уже можно приводить примеры, взятые из электродинамики, в большей степени – из электростатики и магнитостатики [2]. Положительный эффект заключается в быстром получении результата,

его наглядного графического представления, что было бы затруднительно при использовании обычных чертежных инструментов, тем более, что черчение в школах практически не преподается.

Далее математический пакет Mathcad активно используется при изучении дисциплины «Моделирование физических процессов в электродинамике», которая может изучаться параллельно с курсом электродинамики в теоретической физике или сразу же после неё. Наряду с собственными разработками нами используются различные наработки других авторов по компьютерному моделированию физических процессов в электродинамике [2, 3].

Одним из важных направлений работы является выполнение индивидуальных заданий [4]. Так, в электростатике и магнитостатике требуется выполнить одно и то же задание несколькими способами с графической иллюстрацией полученных решений или шагов решения задачи. В этом плане, а также для упрощения вычислений и их контроля успешно используется версия Mathcad 15 [1].

Ниже (рис. 1) показана одна из иллюстраций к таким заданиям – распределение модуля вектора напряженности магнитного поля в цилиндрическом проводнике и магнитные линии для одного из поперечных сечений. Как известно из решения задачи [5,с.20], модуль вектора напряженности магнитного поля внутри цилиндра будет увеличиваться по линейному закону, вне цилиндра – уменьшаться по гиперболическому закону, при постоянной плотности тока в проводнике.



Н,Н

Рис. 1. Распределение модуля и линий вектора напряженности магнитного поля цилиндрического проводника с током

Так, по густоте линий вектора напряженности на этом рисунке можно сделать качественный вывод о том, какие линии лежат внутри проводника, а какие вокруг него. Как показывает практика, в результате выполнения предлагаемой системы индивидуальных заданий у студентов формируется необходимый навык разностороннего подхода к решению основных задач данного раздела электродинамики, что в значительной степени способствуют более глубокому пониманию и прочному усвоению физических закономерностей.

Довольно значительный перечень задач, которые могут быть рассмотрены при моделировании электрических и магнитных явлений, представлен в книге [3]. Автор предлагает различные методы расчета в Mathcad линейных электрических цепей постоянного и переменного тока, резонансные режимы работы, рассматривает задачи теории поля, такие, как расчет электрического поля в проводящей среде, поверхностный эффект и др.

Опыт работы показывает, что наибольший интерес у студентов вызывает возможность создания анимационных роликов в Mathcad, с последующим их сохранением как видеофайлов, которые можно затем просматривать на компьютере вне зависимости от того, установлен ли там пакет Mathcad. В электродинамике наиболее подходящим для этого является раздел, в котором рассматривается движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях [2]. При этом можно варьировать значения различных физических величин, входящих в расчетные формулы, получая множество разных моделей движения этих частиц, и записывать их в видеофайлы. Затем их можно демонстрировать в школе на уроках по электродинамике во время прохождения педагогической практики или, работая учителем физики, после окончания института. Некоторые из выпускников выгодно для себя использовали эту возможность, участвуя в учительских конкурсах «Дебют года» и других.

Список литературы

1. *Кириянов, Д.В.* Mathcad 15/ Mathcad Prime 1.0/ Д.В. Кириянов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 432 с.
2. *Поршнев, С.В.* Компьютерное моделирование физических процессов с использованием пакета MathCad: учебное пособие. –М.: Горячая линия-Телеком, 2002. –252 с.
3. *Любимов, Э.В.* Mathcad. Теория и практика проведения электротехнических расчетов в среде Mathcad и Multisim / Э.В. Любимов. – СПб.: Наука и техника, 2012. – 400с.
4. *Кихтенко, С.Н.* Один из подходов к составлению индивидуальных заданий по электростатике и магнитостатике/ С.Н. Кихтенко, А.И. Жорник // В сб.: Личность как объект психологического и педагогического воздействия: сб. статей, 2016. – С. 187-189.
5. *Крамм, М.Н.* Сборник задач по основам электродинамики: учебное пособие/ М.Н. Крамм. – СПб.: Лань, 2011. – 256 с.

Материал поступил в редколлегию 12.10.18.

В.С. Климачев, А.А. Малаханов
(г. Брянск, Брянский государственный технический университет)

ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ИНДИКАЦИИ ЦИФРОВЫХ ЧАСОВ НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Представлена модель импульсного повышающего преобразователя напряжения с системой управления на микросхеме МС34063, использующегося для питания газоразрядных ламп электронных часов.

A model of a pulse boost voltage converter with a control system on an МС34063 integrated circuit chip used to power the gas-discharge lamps of an electronic clock is presented.

Ключевые слова: импульсный преобразователь напряжения, моделирование, САПР, OrCAD, импульсная модуляция.

Keywords: pulse voltage converter, modeling, CAD, OrCAD, pulse modulation.

Импульсные повышающие преобразователи – устройства преобразовательной техники, способные повысить напряжение, подаваемое на их вход, в несколько раз. Для повышения напряжения, как правило, используется дроссель, который запасает в себе энергию источника, а затем отдает ее в нагрузку на соответствующих интервалах коммутации силового ключа. Управление импульсным преобразователем осуществляется замкнутой системой автоматического управления (САУ).

Для построения САУ было решено использовать микросхему МС34063 [1, 2], представляющую универсальный контроллер для импульсных преобразователей. На указанной микросхеме без применения внешних переключающих транзисторов можно реализовывать системы управления понижающим, повышающим и инвертирующим преобразователями.

Микросхема МС34063 выдает управление по сигналам обратной связи по току и напряжению импульсного преобразователя. Однако из-за отсутствия встроенного усилителя ошибки пульсации выходного напряжения получаются достаточно большими. Поэтому в рекомендациях по применению [1, 2] предлагается на выход преобразователя устанавливать дополнительный LC-фильтр.

Рассматриваемый импульсный преобразователь напряжения разрабатывался с целью использования его для питания газоразрядных ламп цифровых часов (рис. 1). Это позволяет добиться равномерного свечения всех ламп, а также обеспечить их более долгий срок службы. Моделирование работы импульсного преобразователя напряжения проводилось в OrCad с

разработана печатная плата (рис. 4), на которой расположен источник питания газоразрядной индикацией на рассмотренном импульсном повышающем преобразователе напряжения и система управления цифровыми часами.

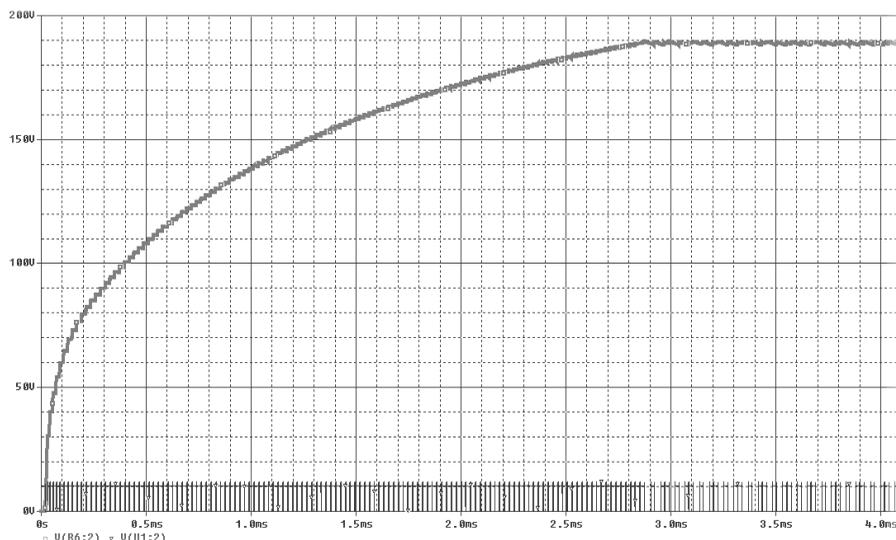


Рис. 3. Диаграммы управляющих импульсов для силового транзистора и выходное напряжение преобразователя

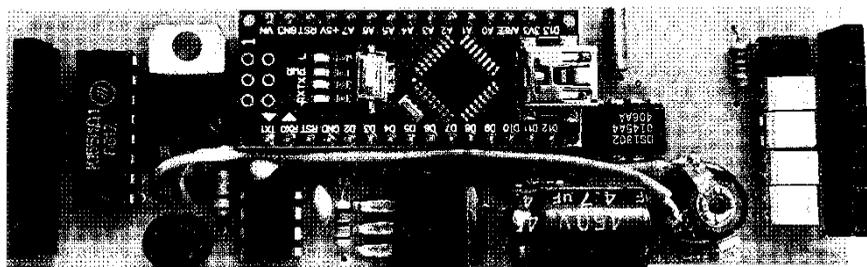


Рис. 4. Печатная плата питания и управления цифровыми часами с газоразрядной индикацией

Список литературы

1. ON Semiconductor: URL: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MC34063A-D.PDF> (дата обращения 10.10.2018).
2. STMicroelectronics: URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/mc34063ab.pdf> (дата обращения 10.10.2018).

Материал поступил в редколлегию 14.10.18.

Э.Р. Латыпова, Е.Ф. Нурлыгаянова
(г. Уфа, Уфимский государственный авиационный технический университет)

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПОЛИРОВАНИЯ ЛОПАТОК ГТД

Рассмотрено электрохимическое полирование лопаток ГТД, изготовленных из титановых сплавов. Проанализированы факторы, определяющие качество полировки. Решена задача выбора формы катода для равномерного распределения плотности тока при помощи компьютерного моделирования в программе Elcut.

Electrochemical polishing of gas turbine blades made of titanium alloys is considered. The factors determining the quality of polishing are analyzed. The problem of choosing the shape of a cathode for uniform distribution of the current density is solved using computer simulation in the Elcut program.

Ключевые слова: электрохимическая обработка, полировка титана, обработка лопаток газотурбинных двигателей, факторы, влияющие на плотность тока при полировании.

Keywords: electrochemical treatment, polishing of titanium, processing blades of gas turbine engines, factors affecting the current density during polishing.

В современном машиностроении в условиях острой конкуренции на мировом рынках особую актуальность для двигателестроительных предприятий имеет проблема выпуска конкурентноспособной продукции. При этом необходимо учитывать качество выпускаемой продукции, сжатые сроки и стоимость изделия.

Одной из важнейших задач совершенствования авиационных двигателей является повышение их надежности и ресурса.

Надежность газотурбинных двигателей в значительной степени зависит от надежности работы лопаток компрессора и турбины, поскольку они являются наиболее нагруженными деталями. Лопатки подвергаются действию статических, динамических и циклических нагрузок, кроме того, лопатки турбины испытывают циклические, термические напряжения, они работают в условиях агрессивной газовой среды при высокой температуре и подвергаются газовой коррозии. Лопатки ГТД имеют сложную пространственную геометрию и изготавливаются из труднодеформируемых материалов: жаропрочных, титановых и алюминиевых сплавов. К ним предъявляются повышенные требования: по структуре металла, его химическому составу, механическим свойствам, геометрическим размерам, исключению дефектов [1].

Именно поэтому полировка лопаток ГТД является важной составной частью технологического процесса. Качество поверхности деталей неразрывно связано с обеспечением определенной шероховатости. Сложность получения низкой шероховатости поверхности состоит в том, что большинство металлов, используемых для изделий специального назначения, является многофазовыми структурами с добавками легирующих элементов, которые обладают различными значениями электрохимической активности. К таким многофазовым и многокомпонентным системам относятся, в частности, титановые сплавы.

Титановые сплавы обладают низким удельным весом и уникальными эксплуатационными свойствами: износостойкостью, усталостной прочностью, коррозионной стойкостью, способностью сохранять прочностные свойства при высоких температурах. Благодаря этому они являются незаменимыми при изготовлении ответственных деталей в самых различных областях промышленности. Большие твердость и вязкость этих конструкционных материалов в ряде случаев затрудняют применение лезвийного инструмента, и альтернативной становится электрохимическая обработка детали (например, получение заданной формы электрохимической размерной обработкой (ЭХРО), электрохимическое полирование) или химическая (химическое полирование) [2].

В ряде случаев наиболее эффективным способом полирования металла является химическая обработка. Она менее трудоемка, более производительна, позволяет обрабатывать изделия различной формы и размеров и не вызывает изменения физико-механических свойств поверхности. Однако промышленное применение химического полирования титана представляет определенные трудности, поскольку практически все полирующие растворы достаточно агрессивны, а их работоспособность невысока. В современных условиях, когда идет непрерывное ужесточение требований, предъявляемых с одной стороны к качеству обработки, с другой - к повышению производительности, снижению себестоимости изготовления изделий и повышению экологической безопасности производства, именно поэтому наиболее эффективным является электрохимическое полирование.

При электрохимическом полировании крайне важно соблюдать некоторые условия, которые увеличивают эффективность полирования. Процесс должен протекать при режимах, приведенных ниже:

- 1) Температура $T = 70 - 95$ градусов.
- 2) Плотность тока $J = 2,5 - 10$ А/дм² (встречаются до 100 А/дм²).
- 3) Напряжение $U = 7 - 15$ В.

При электрохимическом полировании применяют ток такой плотности, при котором вместе с растворением анода происходит разряд анионов. Таким образом, при меньших плотностях тока металл просто растворяется, а если плотность тока слишком велика, то происходят отрицательные явления: перегрев, бурное выделение газов на аноде, сильное растравливание металла.

Температура электролита – очень важный технологический параметр: если она слишком низкая, то увеличивается вязкость прианодного слоя, при этом ухудшается диффузия через прианодный слой и требуется повышенное напряжение в ванне, а повышение температуры снижает вязкость прианодного слоя, и наблюдается простое травление металла.

Эффективность процесса зависит также и от времени полирования. Увеличение длительности не улучшает качество полировки, а наоборот приводит к растравливанию отдельных участков. Необходимо установить оптимальную длительность процесса полировки, которая зависит от состояния поверхности металла, свойств металла, свойств электролита, от токовых и температурных режимов.

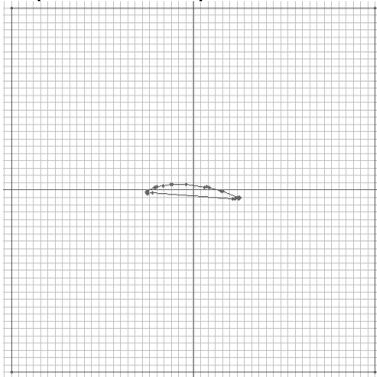
Немаловажным фактором является подбор межэлектродного пространства. Скорость анодного растворения и точность обработки имеет обратную зависимость от величины межэлектродного зазора. Однако со значительным уменьшением зазора усложняется процесс его регулирования, возрастает сопротивление протеканию электролита, может произойти пробой, вызывающий повреждение обрабатываемой поверхности. Из-за увеличения газонаполнения при малых зазорах снижается скорость анодного растворения. Следует выбирать такой размер зазора, при котором достигаются оптимальные скорость съема металла и точность формообразования.

Для процесса важно правильно подобрать размеры, форму и материал катодов, так как именно они напрямую влияют на равномерное распределение плотности тока, которая, в свою очередь, лежит в основе разработки эффективного процесса электрохимического полирования.

Рассмотрим влияние формы катода на равномерное распределение плотности тока при помощи моделирования в программе Elcut.

Были промоделированы два варианта различной формы катода:

1. В первом случае катод представляет собой прямоугольную емкость. На рис. 1 представлена модель расположения лопатки и катода при электрохимическом полировании электрическим полем постоянного тока.



*Рис. 1. Модель с катодом –
прямоугольная емкость*

В результате моделирования получилась следующая картина распределения плотности тока, которая представлена на рис. 2.

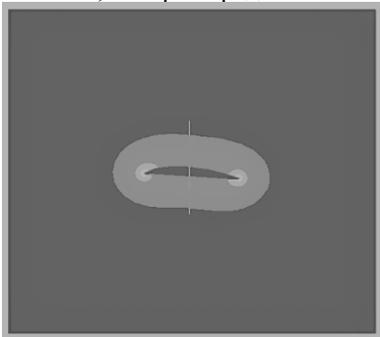


Рис. 2. Результат моделирования

По рисунку видно, что плотность тока практически равномерно распределена вокруг эллиптической лопатки с усилением на ее краях.

Рис. 3 позволяет оценить количественное изменение плотности тока в зависимости от расстояния от катода до лопатки. Разрыв на графике определяет положение самой лопатки. Диапазон скачка от максимального до минимального значения в данном случае составляет около 200 А/м^2 .

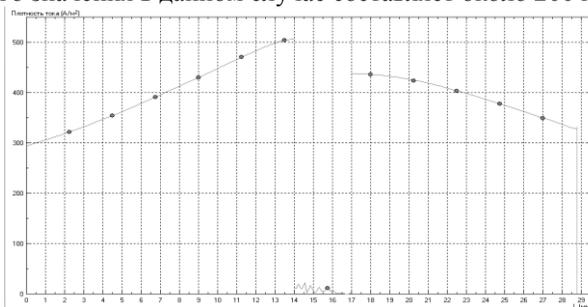


Рис. 3. График распределения плотности тока

2. Во втором случае был рассмотрен катод в форме полуэллипса. Модель представлена на рис. 4.

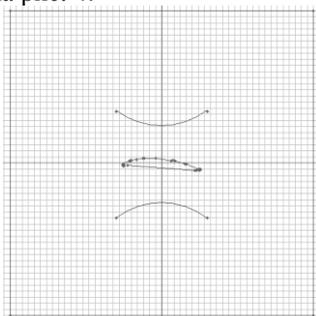


Рис. 4. Модель катод-полуэллипс

Картина плотности тока при катоде-полуэллипсе представлена на рис.5. Видно, что во втором случае плотность тока более равномерно распределена вдоль всей границы лопатки.

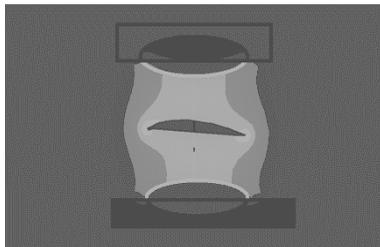


Рис. 5. Результат моделирования

График для анализа распределения плотности тока представлен ниже:

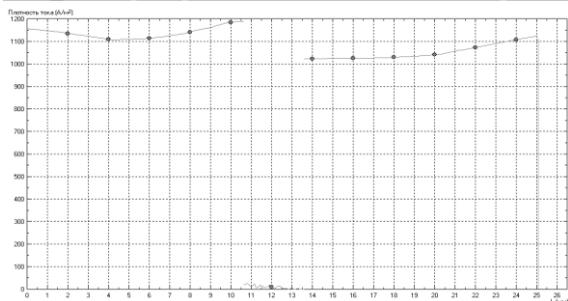


Рис. 1.6. График распределения плотности тока

На графике видно, что диапазон скачка между максимальным и минимальным значениями меньше, чем в первом случае и составляет около 180 A/m^2 . Соответственно выбор формы катода в виде эллипса показывает более равномерное распределение плотности тока, что однозначно повышает качество электрохимического полирования.

Список литературы

1. Донцов, М.Г. Электрохимическое и химическое полирование титановых сплавов / М. Г. Донцов, О. И. Невский, А. В. Балмасов, Е. В. Кузьмичева // Металлообработка. – СПб.: Политехника, 2012. – №2(68). – С.18-22
2. Бартнев, С.С. Детонационные покрытия в машиностроении / С.С. Бартнев, Ю.П. Федько, А.И. Григоров. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1982. – 215 с.

Материал поступил в редколлегию 26.09.18.

К.А. Литвинчѳв, Д.В. Левый, В.П. Матлахов, И.О. Перешивко
(г. Брянск, Брянский государственный технический университет)

РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА С ЧПУ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Представлены варианты изготовления управляющей программы для станка ЧПУ при помощи различных программ.

Variants of production of the control program for the CNC machine by means of various programs are presented.

Ключевые слова: САПР, CAD, CNC.

Keywords: CAD, CAM, CNC.

Печатные платы – основополагающий элемент электроники. Существует множество способов изготовления печатных плат, самые популярные из них: химический метод (разновидностью химического метода является метод ЛУТ (лазерно-утюжный метод)), фото-аддитивный метод и другие. Наиболее известным и распространѳнным методом изготовления печатных плат является метод ЛУТ, но него есть существенные недостатки, такие, как время изготовления, точность и качество дорожек, особенно при небольших размерах платы. Поэтому мы решили рассмотреть возможность изготовления печатных плат на фрезерном станке с ЧПУ.

Изначально для проектирования модели платы мы используем программу Sprint layout. По окончании проектирования убираем с нее все лишние элементы и оставляем только сами дорожки (рис 1).

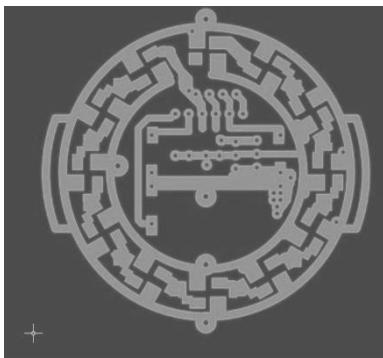


Рис.1. Готовая модель печатной платы в программе Sprint layout

Для создания управляющих программ для станка будем использовать связку Sprint layout+StepCam. Фрезеровка изоляционных дорожек

представляет собой специфический процесс работы станка с ЧПУ. Проводники и полигоны прорезаются по контуру для создания изоляционного промежутка на медной поверхности платы. Sprint-Layout поддерживает формирование полной информации в выходном файле, включая изоляционные дорожки, сверловку и контур платы. Выходной файл создается в формате HPGL (*.plt). Следовательно, всю разработку управляющих программ можно разделить на три этапа: фрезеровка дорожек, сверление отверстий и обрезка по контуру.

В программе Sprint layout экспортируем нашу модель в режиме «Экспорт файла фрезеровки». В появившемся окне (рис.2) задаем параметры для каждой операции. Для фрезеровки дорожек ширина прорези (т.е. ширина одного прохода фрезы) задается с учетом применяемого инструмента (в нашем случае это конический гравер 45° x 0.2), исходя из этого, устанавливаем данный параметр равным 0,3 мм. Вся фрезеровка будет производиться со стороны слоя, на котором расположены дорожки нашей платы, т.е. слой Ф2. Число проходов фрезы будет зависеть от необходимой ширины изоляционной дорожки. Мы выбираем число проходов 2, с перекрытием 25%. Далее переходим к сверлению отверстий. На данном этапе выбираем «фрезеровку отверстий, используя CL коды». И последний этап – это обрезка по контуру. Здесь мы указываем слой, содержащий контур платы. Важно учесть, что дорожки будут проведены непосредственно по линиям в слое контура платы, без учета размеров режущего инструмента.

При сохранении необходимо помнить, что на каждом этапе изготовления платы мы используем разные фрезы, и поэтому возникает необходимость для каждой операции создать отдельный файл. Также можно сохранить файл задания в текстовом виде, что существенно облегчит навигацию в проекте.

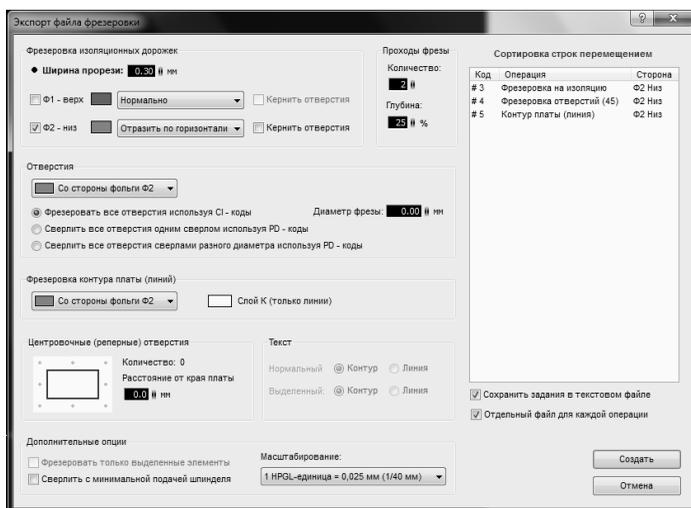


Рис.2. Окно «Экспорт файла фрезеровки» в программе Sprint layout

После сохранения, в Sprint layout появится белый контур (рис.3), отображающий симуляцию изоляционных дорожек, а также четыре файла фрезеровки (рис.4)

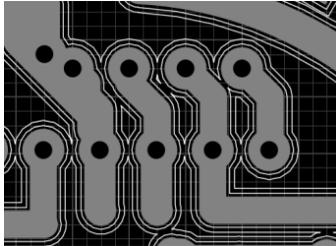


Рис.3. Симуляция изоляционных дорожек в программе Sprint layout

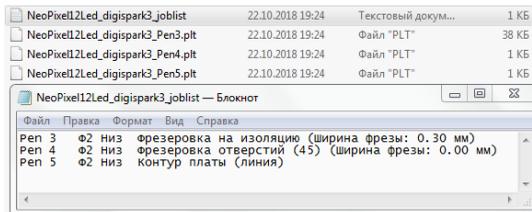


Рис.4. Сохранённые файлы в программе Sprint layout

Далее нам необходимо перевести файлы формата (PLT*) в формат (.tap), так как наш станок работает с таким расширением. Для этого можно воспользоваться программой StepCam. В окне программы по очереди открываем наши файлы с расширением (PLT*), и задаём все необходимые параметры. Подача гравировки 60 мм/мин, безопасная z (высота) 2 мм, глубина гравировки (для фрезеровки дорожек) -0,14 мм, глубина гравировки (для сверления и обрезки по контуру) -2 мм. После того как все обязательные поля будут заполнены, можно будет создать G-code и сохранить его в формате (.tap) (рис.5)

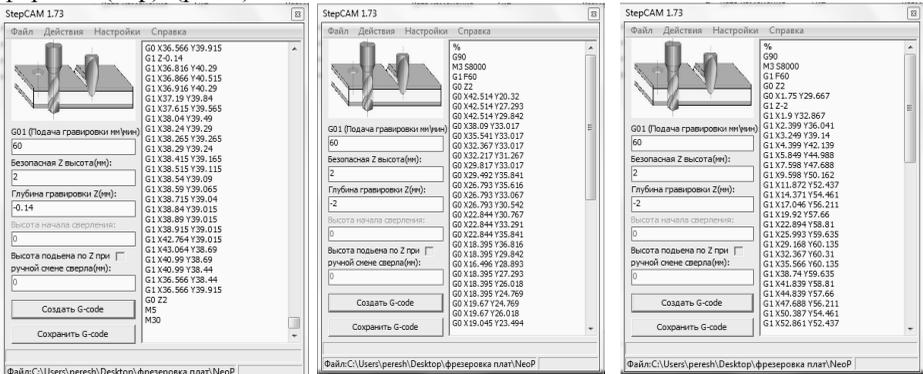


Рис.5. Создание G-Code в программе StepCam

Также программа StepCam позволяет визуализировать созданный G-code (рис.6), что, в свою очередь, помогает предотвращать ошибки и существенно снижает процент брака. Результат изготовления платы при помощи рассмотренных программ представлен на рис. 7.

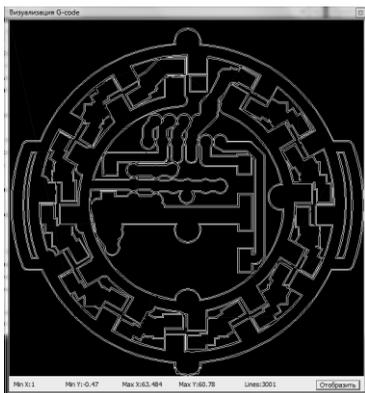


Рис.6. Окно визуализации G-code в программе StepCam



Рис.7. Плата, изготовленная на станке с ЧПУ

В заключение можно сказать, что использование рассмотренных в данной статье программ, существенно ускоряет изготовление печатных плат и значительно повышает их качество по сравнению с лазерно – утюжной технологией.

Список литературы

1. Литвинчѳв, К.А. Разработка управляющих программ для ЧПУ станка WOODTEC6090/ К.А. Литвинчѳв, И.О. Перешивко, А.В. Степанов // Материалы 73-й студенческой научной конференции. – Брянск: БГТУ, 2018. – 903с. – С.127-128.
2. ON Semiconductor: URL: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MC34063A-D.PDF>
3. STMicroelectronics: URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/mc34063ab.pdf>
4. <http://radio-hobby.org/modules/instruction/sprint-layout-6/>

Материал поступил в редколлегию 21.10.18.

Г.В. Малинин, Л.С. Севриков

(г. Чебоксары, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова)

ВИРТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СОЛНЕЧНОГО МИКРОИНВЕРТОРА, РАБОТАЮЩЕГО НА ПРОМЫШЛЕННУЮ СЕТЬ

Приведена Simulink-модель солнечного инвертора с описанием ее функциональных блоков. Приведены входные и выходные параметры системы и осциллограммы результатов моделирования.

The paper presents a Simulink-model of the solar inverter with a description of its functional units. The input and output parameters of the system and waveforms of simulation results are given.

Ключевые слова: солнечная энергетика, солнечный модуль, микроинвертор, обратногоходовой преобразователь.

Keywords: solar energy, photovoltaic panel, microinverter, flyback converter.

Фотопреобразовательные системы (ФС) находят все более широкое применение в нашей стране как в частном секторе, так и при построении мощных солнечных электростанций. Основными элементами ФС являются солнечный модуль и полупроводниковый преобразователь солнечной энергии в электрическую. Особый интерес представляют ФС, ориентированные на применение технологии встроенного в солнечный модуль преобразователя (*Module integrated converter, MIC*). Такие ФС состоят из солнечного модуля и микроинвертора, преобразующего выходное напряжение солнечного модуля в переменное напряжение промышленной частоты.

На рис. 1 представлена моделируемая схема микроинвертора, построенного на базе двух обратногоходовых преобразователей.

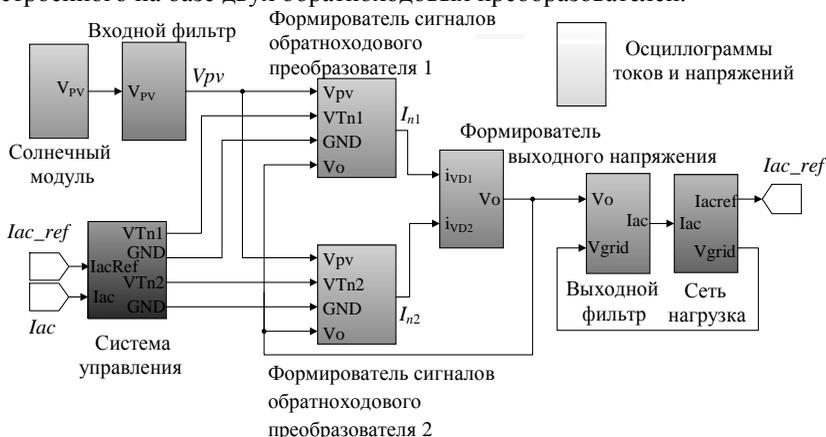


Рис. 1. Simulink - модель преобразователя энергии солнечного модуля

Подробное описание работы микроинвертора приведено в [2].

Входные и выходные параметры солнечного микроинвертора:

- выходное напряжение солнечного модуля 20 - 45 В;
- выходное напряжение - переменное напряжение 220 В с частотой 50 Гц;
- выходная мощность микроинвертора - 200 Вт.

Simulink - модель микроинвертора включает:

- блок солнечного модуля с номинальным выходным напряжением 36 В;
- блок входного фильтра;
- блоков формирователей сигналов обратных преобразователей.
- блок формирования выходного напряжения;
- блок выходного фильтра;
- блока нагрузки/потребительской сети.

В качестве прототипа в модели используются характеристики солнечного модуля ООО "Хевел". Сигнал напряжения V_{pv} солнечной панели поступает на входной фильтр. Блок входного фильтра представляет емкостной накопитель. Параметрами блока являются индуктивность фильтра, активное сопротивление цепи фильтра, емкость и эквивалентное последовательное сопротивление электролитических конденсаторов.

Напряжение с фильтра подается на блок формирователей сигналов обратного преобразователя. Параметрами блока являются индуктивность входного дросселя, коэффициент трансформации трансформатора. Так как в такой конфигурации входной ток преобразователя достаточно большой, для его разделения применяется повышающий двухфазный обратный преобразователь. Обратные преобразователи работают в противофазе. Управление силовыми ключами преобразователей осуществляют по закону синусоидальной ШИМ, реализованном в блоке системы управления так, чтобы огибающая тока входного дросселя соответствовала положительной полуволне синусоидального напряжения сети. Осциллограммы входных токов обратных преобразователей приведены на рис 2.

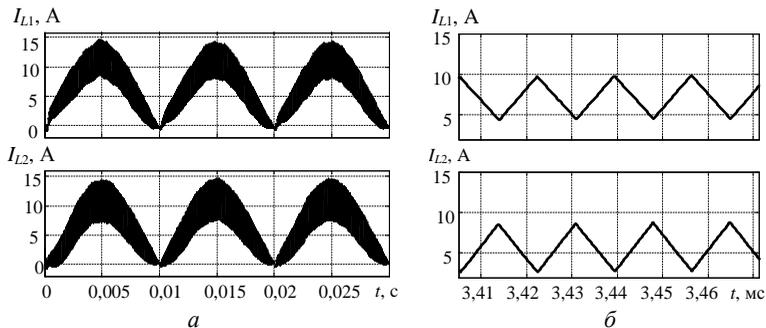


Рис. 2. Осциллограммы входных токов обратных преобразователей: а – общий вид тока; б – токи преобразователей в увеличенном масштабе

Осциллограммы выходных токов $I_{п1}$ и $I_{п2}$ обратных преобразователей приведены на рис. 3.

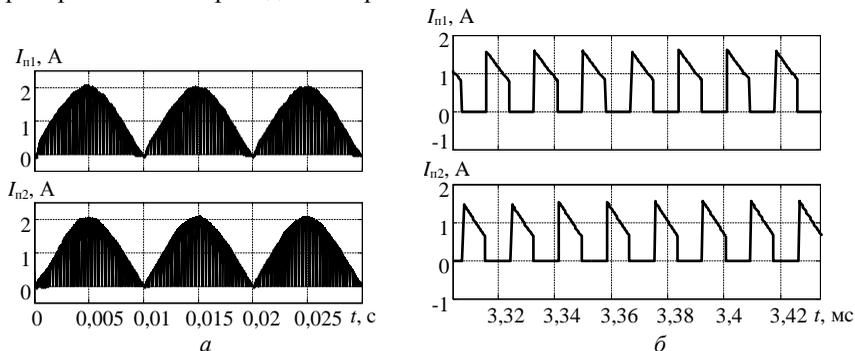


Рис. 3. Осциллограммы выходных токов обратных преобразователей: а – общий вид тока; б – токи преобразователей в увеличенном масштабе

Сигналы $I_{п1}$ и $I_{п2}$ поступают на вход блока формирования выходного напряжения, выходной сигнал V_o которого подается на блок выходного фильтра. Осциллограммы тока I_{ac} и напряжения V_o выходного фильтра приведены на рис. 4.

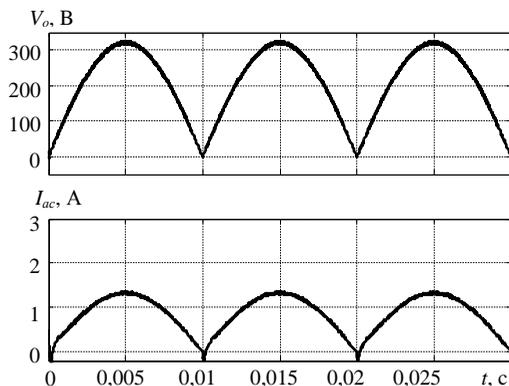


Рис. 4. Осциллограммы выходных токов и напряжений

Выходной ток микроинвертора I_{ac} используется для организации обратной связи и подается на вход блока системы управления.

Список литературы

1. Малинин, Г.В. Системы управления преобразователями для солнечных модулей на базе инверторов с ШИМ / Г.В. Малинин, Г.А. Белов // Вестник Чувашского университета. – 2015. – № 3. – С. 68–80.
2. AN1444: Grid-Connected Solar Microinverter Reference Design, 2012. Режим доступа: www.microchip.com (дата обращения 18.11.2017).

Материал поступил в редколлегию 21.10.18.

А.А. Мартынов, И.А. Бершадский, Н.М. Халявинская
(г. Донецк, Донецкий национальный технический университет)

САПР КОМПАНИИ CSOFT КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Проведен обзор современного САПР компании CSOFT в области электроэнергетики. Рассмотрен пример использования программы Project Studio CS Электрика для выполнения проекта электроснабжения гостиницы.

This article is dedicated to the review of modern CAD systems from CSOFT in the field of electric power industry. An example of the use of the Project Studio CS Electrics program for the execution of a hotel power supply project is considered.

Ключевые слова: САПР, электроснабжение, CSOFT, проектирование, освещение, кабельные конструкции

Keywords: CAD, electricity. CSOFT, engineering, lighting, cable construction.

В настоящее время любой создаваемый объект не обходится без предварительного компьютерного проектирования. Использование вычислительных мощностей современных компьютеров позволяет смоделировать будущий объект в мельчайших деталях, появилась возможность подвергать данный объект различным нагрузкам и воплощать в жизнь новые инженерные решения.

Одним из таких инструментов в области проектирования электротехнических систем является программа Project Studio CS Электрика от компании CSOFT. Прежде всего, программа предназначена для автоматизированного проектирования силового электроснабжения, а также внутреннего и наружного освещения производственных зданий и сооружений.

Если предположить, что хотя бы каждый третий инженер использовал в своей производственной деятельности продукты AutoCAD, то мы будем весьма близки к истине. Согласно источникам [1], уже продано более 3 миллионов копий данного продукта. Следует отметить, что Project Studio построена именно на базе знаменитого AutoCAD, что делает этот программный продукт простым в освоении и понятным каждому инженеру.

В основе данного САПР заложен принцип уменьшения трудоемкости проектирования и сведения к минимуму числа допускаемых ошибок. Функционал программы позволяет инженеру-проектировщику сосредоточить внимание на решении концептуальных вопросов, не тратя при этом большую часть времени на маркировку оборудования, проведение многочисленных расчетов и оформление отчетов.

В программе Project Studio реализованы технические решения по следующим направлениям:

- выполнение светотехнических и электротехнических расчетов;
- расстановка всех типов электротехнического оборудования;
- прокладка кабельных трасс с учетом перепадов высот и различных окружающих условий;
- выбор защитных аппаратов;
- подбор сечений кабелей;
- формирование отчетной документации.

Чтобы убедиться в целесообразности применения Project Studio, нами был проведен необычный эксперимент. Одному из студентов совместно с преподавателями ДонНТУ была поставлена задача выполнить проект электроснабжения небольшой гостиницы. Особенностью опыта являлся тот факт, что ни студент, ни преподаватели заранее не были знакомы с продуктами компании CSOFT.

В их задачу входили работа по ознакомлению с функционалом программы, создание проекта электроснабжения и формирование отчетной документации.

Результат оказался весьма любопытным. В течение трех недель им удалось реализовать достаточно полноценный проект электроснабжения гостиницы. Общий план здания с расстановкой оборудования и прокладкой кабельных трасс показан на рис. 1

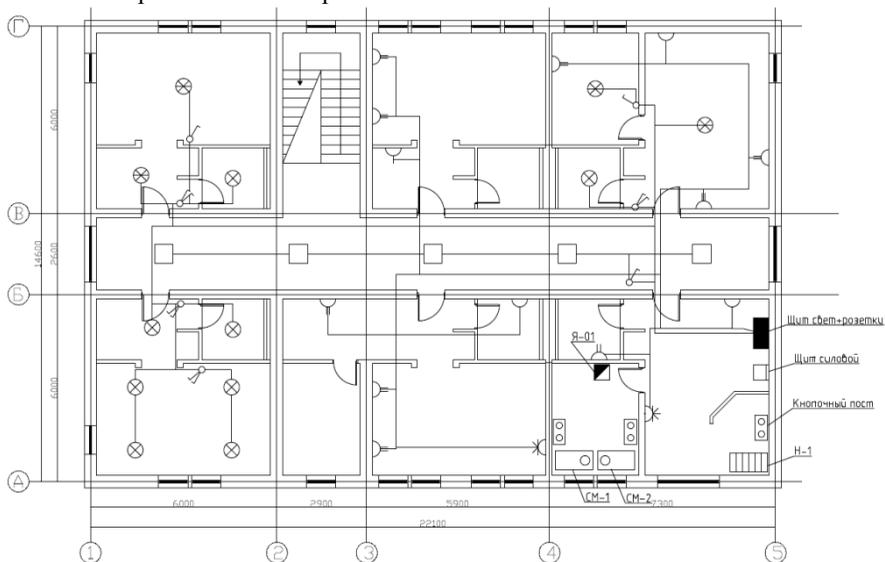


Рис.1. План расстановки оборудования и прокладки кабельных трасс

В данном проекте удалось реализовать следующие технические решения:

- выполнены светотехнические расчеты согласно требованиям освещенности для различных помещений;
- освещение выполнено светодиодными и люминесцентными лампами;
- в комнатах установлены двухполюсные штепсельные розетки, часть из которых сдвоенные, а часть строенные;
- в качестве силовой нагрузки установлено два электродвигателя СМ-1 и СМ-2, а также нагреватель Н-1, который управляется через кнопочный пост;
- силовые потребители электроэнергии и электрическое освещение получают питание от различных распределительных щитов;
- все потребители электроэнергии разделены на 14 групп, для каждой из которых выбраны аппараты защиты и уставки автоматических выключателей;
- кабели проложены в металлорукавах (с креплением к подвесному потолку) и в лотках (вдоль стен), учитывается перепад высот, а также запас на изгиб и подключение кабелей;
- сформированы результаты проектирования в виде отчетной документации (однолинейные схемы для каждого распределительного щита, кабельный журнал, спецификация оборудования, экспликация помещений, таблица групповых щитков, результаты светотехнических и электротехнических расчетов).

Как можно видеть из полученных результатов, программа Project Studio CS Электрика является весьма удобным и простым в освоении инструментом для проектирования электротехнических систем. Такой успех достигается путем автоматического выполнения расчетов в режиме реального времени [3-5].

Список литературы

1. Autodesk: 20 лет спустя, или Как все начиналось. [Электронный ресурс] /. – Электрон. журн. – Режим доступа: http://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_14_autodesk_20_year_later.html
2. Project StudioCS Электрика [Электронный ресурс] /. – Электрон. журн. – Режим доступа: <http://development.csoft.ru/programs/project-studiocs-electrica.html>
3. СП 256.1325800.2016. Свод правил. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа. Актуализированная редакция взамен СП 31-110-2003
4. ГОСТ 28249–93 –2006. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. – М., 2016
5. Правила устройства электроустановок. –7-е издание / ред. А.М. Меламед. – М.: НЦ ЭНАС, 2011. – 552с.

Материал поступил в редколлегию 11.10.18.

И.И. Медведев

(г. Брянск, Брянский государственный технический университет)

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Рассматриваются вопросы, связанные с применением в учебном процессе программ для компьютерного моделирования схем электронных устройств.

This paper addresses issues related to the use in the educational process of programs for computer simulation of electronic device circuits.

Ключевые слова: схема электрическая принципиальная, моделирование схем электронных устройств, интерактивный эмулятор радиосхем Multisim, компьютерное моделирование.

Keywords: basic electrical circuit, simulation of electronic device circuits, interactive Multisim radio circuit emulator, computer simulation.

Компьютерное моделирование всё шире проникает во многие сферы деятельности человека. Не остался в стороне от этого и учебный процесс. В зависимости от направления подготовки, профиля и изучаемой дисциплины в учебном процессе в настоящее время применяется и соответствующее программное обеспечение, позволяющее осуществлять необходимое компьютерное моделирование. Это могут быть как маленькие простые программы, направленные на решение небольших конкретных задач, так и программные комплексы, позволяющие решать задачи практически любой сложности.

При изучении дисциплин радиотехнического направления подготовки в учебном процессе при освоении различных электронных устройств тоже используют компьютерное моделирование. Отметим, что в настоящее время существует множество программных средств, позволяющих осуществить компьютерное моделирование реальных процессов в принципиальных электрических схемах электронных устройств. Наиболее известные из них – Multisim, OrCAD, MicroCap.

Споры об эффективности использования в учебном процессе подобных программных пакетов для моделирования электронных схем, вместо работы с реальными схемами и измерительными приборами, не заканчиваются и сейчас. Своё мнение по этому поводу автор изложил в ряде публикаций [1-5].

Автор на протяжении многих лет в учебном процессе использует интерактивный эмулятор радиосхем Multisim. Это связано с несколькими аспектами.

Во-первых, Multisim позволяет осуществлять моделирование и

исследование электрических принципиальных схем максимально близко к тому, как и при работе с реальными схемами и реальными измерительными приборами. Иллюзия «реальности» достигается путем интерактивного режима работы программы. Так, при исследовании схемы можно изменять величину сопротивления переменного резистора и при этом наблюдать на экране осциллографа программы, как изменяется контролируемая величина сигнала в какой-либо точке схемы, например на выходе схемы. Другие подобные программы или вообще не предоставляют такого режима, или процесс предоставления результата моделирования осуществляется так, что теряется ощущение «реальности» работы со схемой.

Во-вторых, компания-разработчик предоставляет возможность доступа на своём сайте к дистрибутиву Multisim и бесплатному ознакомлению с программой. При этом функциональные возможности программы никак не ограничиваются, кроме ограничения по времени.

Однако, работая с Multisim, автор выявил и ряд ошибок программы при моделировании процессов работы тех или иных схем [3, 4]. Некоторые ошибки, после обращения внимания на них разработчика программы, в последующих версиях программы были устранены. Некоторые «тянутся» до сих пор и не устраняются в течение уже нескольких лет.

Недавно был выявлен случай, когда на лабораторной работе по дисциплине «Устройства приёма и преобразования сигналов» при исследовании студентами схемы входной цепи радиоприёмника в последней версии Multisim полученные результаты оказались «неправильные», хотя в более ранних версиях Multisim эти результаты получались «правильными». На рис. 1 представлена указанная схема входной цепи, с которой проводилась работа.

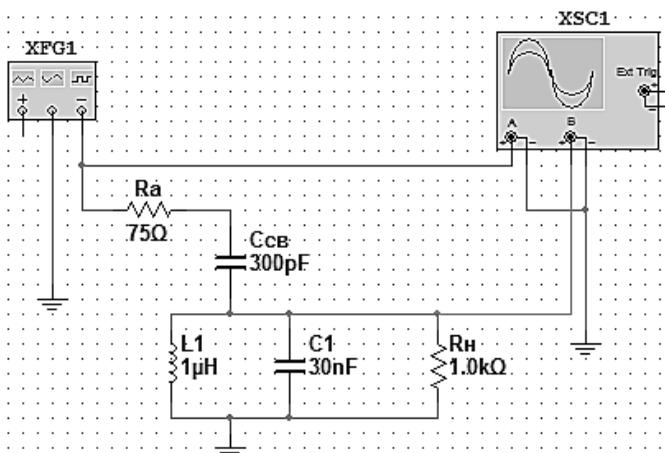


Рис. 1. Исследуемая схема, при работе с которой Multisim 14 выдаёт «неправильный» результат

Указанная ошибка обнаружилась при выполнении одного из заданий, в котором требовалось путём проведения измерений с помощью осциллографа (на схеме он обозначен XSC1) и функционального генератора (на схеме он обозначен XFG1), которые имеются в составе интерактивного эмулятора радиосхем Multisim, «экспериментально» определить резонансную частоту входной цепи.

Раньше, при использовании более ранних версий программы (например, Multisim 10 или Multisim 11), при проведении необходимых соответствующих измерений значение резонансной частоты входной цепи получалось равным 914,1 кГц.

При использовании интерактивного эмулятора радиосхем Multisim 14 результатом измерения резонансной частоты этой же самой входной цепи стала частота 911 кГц. Разность между результатами составила около 3 кГц! Это большая ошибка!

Аналитический расчёт резонансной частоты данной входной цепи показал, что «неправильно» работает версия Multisim 14. Попытка разобраться, почему так получается, результата пока не дала. Служба поддержки программы тоже пока не может разобраться с причиной появления данной «ошибки». Поэтому пока можно только констатировать, что в данном случае произошёл своеобразный регресс в развитии интерактивного эмулятора радиосхем Multisim.

Отметим, что при получении таких «ошибок» программ подобного рода по моделированию работы электронных схем в учебном процессе никаких серьёзных последствий не происходит. Эти ошибки не так «страшны», как в том случае, когда после моделирования на компьютере намечена реализация реального электронного устройства. При подобных «ошибках» в моделировании реальное устройство будет либо «неправильно» работать, либо обладать не теми параметрами, которые от него ожидали, либо выйдут из строя те или иные его радиокомпоненты.

Более того, следует отметить, что в учебном процессе выявление таких ошибок и указание на них обучающимся даже в некоторой степени полезно, поскольку позволяет преподавателю не только говорить о том, что нельзя слепо доверять результатам компьютерного моделирования, но и наглядно демонстрировать эти ошибки. Наличие подобных ошибок способствует формированию у обучающихся мнения, что надо всегда сравнивать полученные результаты моделирования с теоретическими сведениями по исследуемым устройствам, при расхождении результатов – искать истину.

Таким образом, можно утверждать, что, несмотря на выявленные недостатки, применение интерактивного эмулятора радиосхем Multisim позволяет повысить эффективность обучения по дисциплинам радиотехнического направления подготовки. Использование Multisim при проведении лабораторных работ позволяет подробно исследовать происходящие в изучаемых устройствах процессы, разобраться в принципе их работы.

Более того, обучающиеся, установив программу на своём компьютере, могут дополнительно изучать её дома при самоподготовке, используя учебно-методические пособия. Всё это способствует получению хороших практических навыков работы с программой и лучшему усвоению дисциплины.

Список литературы

1. *Медведев, И.И.* О целесообразности применения новых информационных технологий в учебном процессе. Математические методы и информационно-технические средства: труды VIII Всероссийской научно-практической конференции, 22-23 июня 2012 г. – Краснодар, 2012. – С. 130 – 131.

2. *Медведев, И.И.* Обеспечение повышения эффективности проведения лабораторных работ по дисциплине «Устройства приёма и обработки сигналов» // Охрана, безопасность и связь – 2013. Международная научно-практическая конференция: сборник материалов.– Воронеж, 2014. – Ч.2. – С. 57 – 59.

3. *Медведев, И.И.* К вопросу о применении современных информационных технологий в учебном процессе // Международная научно-практическая конференция «Современные информационные технологии в профессиональной деятельности» (СИТ – 2014).– М., 2014. – С. 19 – 22.

4. *Медведев, И.И.* О «подводных камнях» при применении программ схемотехнического моделирования в учебном процессе // Общественная безопасность, законность и правопорядок в III тысячелетии: сборник материалов международной научно-практической конференции (Воронеж, 10 июня 2015 г.).– Воронеж, 2015. – Ч.3. – С. 103 – 106.

5. *Медведев, И.И.* Применение компьютерных технологий при подготовке специалистов по радиотехническим специальностям // Общественная безопасность, законность и правопорядок в III тысячелетии: сборник материалов международной научно-практической конференции (Воронеж, 16 июня 2016 г.).– Воронеж, 2016. – Ч.1,2. – С. 321 – 323.

Материал поступил в редколлегию 10.10.18.

Д.М. Охунов, М.Х. Охунов
(Узбекистан, г. Фергана, Ферганский филиал Ташкентского университета
информационных технологий)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ВЫБОРА АВТОМАТИЗИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТАМИ ПО СОЗДАНИЮ И РАЗВИТИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Предложены модели выбора автоматизируемых объектов для реализации процессов управления работами по созданию и развитию информационных систем и отдельных локальных автоматизированных систем.

In this article, for the implementation of management processes for the creation and development of information systems and individual local automated systems, models for the selection of automated objects are proposed.

Ключевые слова: информационная технология, автоматизированная система, автоматизируемый объект, целочисленное программирование, целевая функция, технические средства, информационное обеспечение, затраты.

Keywords: information technology, automated system, automated object, integer programming, objective function, technical means, information support, costs.

Для эффективного использования достижений современной информационной технологии, удовлетворения требований к качеству автоматизированных систем (АС) необходимо тщательно планировать весь процесс создания и развития АС, в т.ч. проектных работ. Это вызывает потребность в разработке комплекса методов, поддерживающих все аспекты процессов создания и развития АС, управления проектными работами. Только на этой основе можно рационально использовать ресурсы и эффективно контролировать получаемые результаты.

На данном этапе развития экономики в рыночных условиях ее функционирования, с одной стороны, и широкого охвата автоматизацией объектов национальной экономики, - с другой, к выбору автоматизируемых объектов необходим подход, учитывающий интересы как предприятий и организаций, так и регионов, национальной экономики в целом. В этом случае обеспечивается принцип получения наибольших результатов при минимуме затрат.

С этой целью созданию каждой АС должен предшествовать анализ особенностей объекта и условий, в которых он осуществляет свою

деятельность. Целью анализа является [1] выявление наиболее перспективных предприятий, где применение типовых проектов автоматизированных систем может дать наибольший эффект. Критерием здесь может быть число предприятий, организаций в группе, суммарный объем выпускаемой продукции, размер основных фондов, численность работающих и т.д. Типовые АС для таких групп предприятий, организаций должны разрабатываться в первую очередь.

Задачу выбора автоматизируемых объектов для внедрения АС можно сформулировать следующим образом [2].

Имеется множество научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций, занимающихся разработкой и внедрением АС, а также объектов, составляющих потенциальное поле создания АС, которое, в свою очередь, состоит из подмножества групп объектов (под группой объектов здесь понимается совокупность объектов в отраслях национальной экономики). Разработка, внедрение и функционирование АС на отдельных объектах характеризуются определенными затратами ресурсов (кадры специалистов, средства вычислительной техники и информатики, финансовые ресурсы и т.д.). Существуют также оценки осуществимости создания АС на конкретных объектах. Из этого множества объектов с учетом различных влияющих факторов (ограниченности ресурсов, подготовленность отдельных объектов к созданию АС, наличие организаций-разработчиков и т.д.) следует определить те объекты, на которых целесообразно создавать АС в первую очередь.

Модель оптимального выбора первоочередных объектов в самом общем виде может быть сформулирована как модель целочисленного программирования [3] следующим образом:

$$\begin{aligned} DX &\leq V, \\ \exists X &\rightarrow \max \\ X_{ilw} &= \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}, \end{aligned}$$

где X – фактор интенсивности разработки и внедрения АС на объектах; D – матрица затрат ресурсов на разработку и внедрение АС; V – лимиты ресурсов; \exists – вектор интенсивности разработки и внедрения АС на объектах.

Модель представляет собой систему ограничений на все виды ресурсов и факторов, целевую функцию задачи и в подробном виде выглядит следующим образом:

1. Ограничения на специалистов различной квалификации:

$$\begin{aligned} \sum_{i \in J_w} R_{ilw}^k X_{ilw} &\leq V^k ; k \in K^1 ; i \in J; \\ \sum_{\substack{\in D_u \\ \partial \in O_{\partial u}}} R_{ilw}^k X_{ilw} &\leq V^k ; k \in K^2 ; w \in W; \end{aligned}$$

$$\sum_{w \in W} \sum_{l \in L_w} \sum_{i \in J_{lw}} R_{ilw}^k X_{ilw} \leq V^k ; k \in K^3 ; l \in L;$$

Описанные неравенства ограничивают специалистов различной квалификации таким образом, чтобы их число не превышало наличное число специалистов по разработке и внедрению. Эти неравенства ограничивают использование такого рода и числа специалистов, которые могли бы участвовать в разработке и внедрении АС соответственно на каждом объекте, группе объектов и на всех группах объектов.

2. Ограничения на материалы, приборы и оборудование:

$$\sum_{w \in W} \sum_{l \in L_w} \sum_{i \in J_{lw}} R_{ilw}^m X_{ilw} \leq V^m ; m \in M ; l \in L.$$

Это неравенство отражает тот факт, что в полученном решении использование ресурсов (технических средств для проведения отладки программ, испытаний и других экспериментальных работ) не должно превышать их наличие. Ограничения накладываются на все организации, на всех группах объектов, на все объекты.

3. Ограничения на технические средства АС:

$$\sum_{i \in J_{lw}} R_{ilw}^f X_{ilw} \leq V^f ; f \in F^1 ; i \in J;$$

$$\sum_{\substack{\in D_q \\ \partial \in O_{ou}}} \sum_{i \in J_{lw}} R_{ilw}^f X_{ilw} \leq V^f ; f \in F^2 ; w \in W;$$

$$\sum_{w \in W} \sum_{l \in L_w} \sum_{i \in J_{lw}} R_{ilw}^f X_{ilw} \leq V^f ; f \in F^3 ; l \in L.$$

Эти неравенства отражают тот факт, что в полученном решении использование различных типов технических средств информационных технологий по числу и качеству не должно превышать их наличия. Ограничения накладываются на технические средства по каждому объекту, по каждой группе объектов, по всей группе объектов, по всем организациям, разрабатывающим и внедряющим АС.

4. Ограничения на научно-методическое и информационное обеспечение работ по созданию АС:

$$\sum_{i \in J_{lw}} R_{ilw}^s X_{ilw} \leq V^s ; s \in S^1 ; i \in J;$$

$$\sum_{\substack{\in D_q \\ \partial \in O_{ou}}} \sum_{i \in J_{lw}} R_{ilw}^s X_{ilw} \leq V^s ; s \in S^2 ; w \in W;$$

$$\sum_{w \in W} \sum_{l \in L_w} \sum_{i \in J_{lw}} R_{ilw}^s X_{ilw} \leq V^s ; s \in S^3 ; l \in L.$$

Описанные неравенства отражают тот факт, что наличие методических материалов, типовых проектов и типовых проектных решений, пакетов

прикладных программ (ППП) и т.д. не должно быть ниже допустимого значения, иначе это может привести к затягиванию сроков разработки и внедрения АС, ограничения накладываются на каждый объект, на каждую группу объектов, на все объекты разрабатываемых АС во всех организациях.

5. Ограничения на единовременные затраты на создание АС:

$$\sum_{i \in J_{hw}} R_{ilw}^p X_{ilw} \leq V^p ; p \in P^1 ; i \in J;$$

$$\sum_{\delta \in D_{\delta}} \sum_{\delta \in O_{\delta}} R_{ilw}^p X_{ilw} \leq V^p ; p \in P^2 ; w \in W;$$

$$\sum_{w \in W} \sum_{l \in L_{hw}} \sum_{i \in J_{hw}} R_{ilw}^p X_{ilw} \leq V^p ; p \in P^3 ; l \in L.$$

Эти неравенства отражают тот факт, что единовременные затраты на создание АС (затраты на проектные работы, внедрение проектов, подготовку персонала, ввод в действие АС и т.д.) не должны превышать их наличия. Ограничения накладываются на каждый объект, на каждую группу объектов, на все группы объектов.

6. Ограничения на затраты, связанные с эксплуатацией АС:

$$\sum_{i \in J_{hw}} R_{ilw}^z X_{ilw} \leq V^z ; z \in Z^1 ; i \in J;$$

$$\sum_{\delta \in D_{\delta}} \sum_{\delta \in O_{\delta}} R_{ilw}^z X_{ilw} \leq V^z ; z \in Z^2 ; w \in W;$$

$$\sum_{w \in W} \sum_{l \in L_{hw}} \sum_{i \in J_{hw}} R_{ilw}^z X_{ilw} \leq V^z ; z \in Z^3 ; l \in L.$$

Эти неравенства отражают тот факт, что эксплуатационные затраты на функционирование АС не должны превышать установленных лимитов. Ограничения накладываются на каждый объект, группу объектов и на все объекты.

Модель выбора первоочередных объектов для создания АС и применения информационных технологий предполагает как определяющий фактор наличие критерия оптимальности, в соответствии с которым формируются темпы работ по созданию АС.

Список литературы

1. Глушков, В.М. Макроэкономические модели и принципы построения ОГАС/ В.М. Глушков. – М.: Статистика, 1975
2. Кабулов, В.К. Алгоритмизация в социально-экономических системах/ В.К. Кабулов. – Ташкент: Фан, 1984
3. Технология принятия управленческих решений / Е.П. Голубков. – М.: Издательство «Дело и Сервис», 2005. – 544 с.

Материал поступил в редколлегию 12.10.18.

А.В. Пивторак

(г. Брянск, Брянский государственный технический университет)

МОДЕРНИЗАЦИЯ ДВУХТАКТНОЙ СИЛОВОЙ ЯЧЕЙКИ С ОДНОПОЛЯРНОЙ РЕВЕРСИВНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Представлена модернизированная схема инвертора с однополярной реверсивной модуляцией, проанализирована энергетическая эффективность полученной схемы.

A modernized inverter circuit with unipolar reversible modulation is presented and the energy efficiency of the resulting circuit is analyzed.

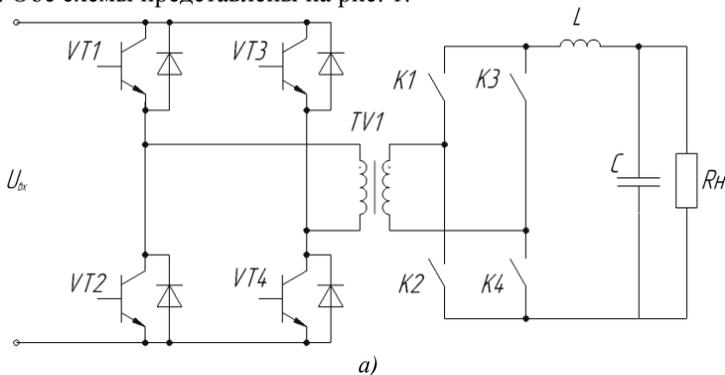
Ключевые слова: инвертор с мягкой коммутацией, однополярная реверсивная модуляция, силовая ячейка.

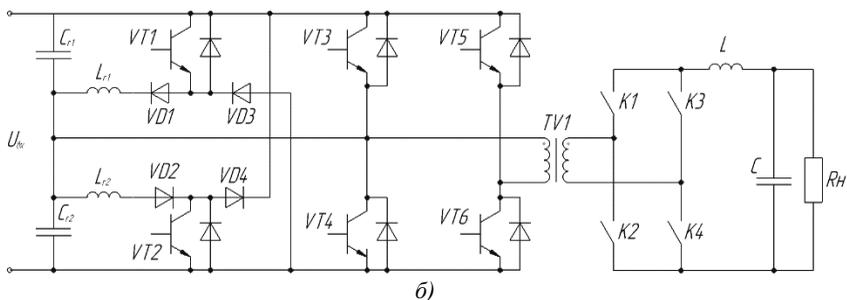
Keywords: soft switching inverter, unipolar reversible modulation, power cell.

Актуальными задачами силовой электроники являются повышение энергоэффективности и снижение массогабаритных показателей преобразователей энергии.

Возможным решением данных задач является использование схем с «мягкой коммутацией», под которой понимается режим коммутации силовых ключей при нулевом токе или нулевом напряжении, при котором удастся снизить динамические потери [1]. Уменьшение потерь позволяет повысить частоту коммутации ключей, что уменьшит габариты реактивных элементов и сделает устройство более компактным. Таким образом, исследование и разработка таких преобразователей является перспективным направлением силовой электроники.

В данной работе представлена схема инвертора с «мягкой коммутацией», которая была получена в результате модернизации двухтактной силовой ячейки с однополярной реверсивной модуляцией (ОРМ). Обе схемы представлены на рис. 1.





б)
 Рис. 1. Двухтактные преобразователи с OPM:
 а – двухтактная ячейка OPM;
 б – ячейка OPM с мягким переключением

Полученная схема инвертора с «мягкой коммутацией» (рис. 1б) идентична схеме, представленной в [2], и была получена посредством добавления двух дополнительных ключей и LC-цепочек в схему (рис. 1а).

В модернизированной схеме транзистор VT1 служит для мягкого включения транзистора VT3, а VT2 – для мягкого включения транзистора VT4. Таким образом, перед коммутацией транзистора VT3 (VT4) нужно включить транзистор VT1 (VT2). Время, на которое включается дополнительный ключ, определяется длительностью переходного процесса соответствующей LC-цепочки. Величины емкости и индуктивности LC-цепочек нужно подобрать таким образом, чтобы переходный процесс был аperiодическим.

Сигналы управления другими ключами аналогичны сигналам соответствующих ключей двухтактной ячейки OPM. Сигналы управления модернизированной схемой представлены на рис.2.

На рис. 2 изображены следующие сигналы: $U_{оп}$ – опорное пилообразное напряжение, U_v – модулирующий сигнал; U_{K1} , U_{K2} – сигналы управления ключами переменного тока K1 и K2; U_{VT1} , U_{VT2} – сигналы управления дополнительными ключами; U_{VT3} , U_{VT4} , U_{VT5} , U_{VT6} – сигналы управления основными ключами инвертора; $U_{вх.ф}$ – напряжение на входе фильтра.

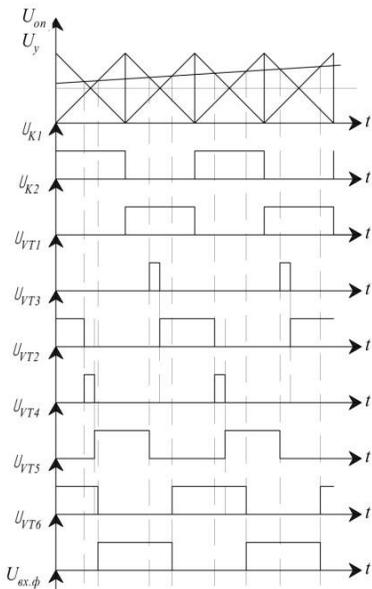


Рис. 2. Сигналы управления ключами

Проводилось моделирование данной схемы на инструментальной ЭВМ при условиях: $L_r = 0.4$ мкГн; $C_r = 1$ нФ; $R_{ds-on} = 0,065$ Ом; $P_H = 500$ Вт;

$f_{\text{ком.}} = 40$ кГц. Коэффициент полезного действия (КПД) составил 97 %, что является хорошим результатом. Для сравнения, при идентичных условиях КПД силовой ячейки ОРМ с жесткой коммутацией составляет 92 %. Увеличение КПД схемы с мягкой коммутацией обусловлено снижением динамических потерь при коммутации ключей.

Преобразователи с мягкой коммутацией позволяют выбирать транзисторы с меньшим запасом, увеличивать их ресурс, снижать габариты радиаторов, и в результате уменьшать массогабаритные показатели устройства. Полученные результаты моделирования схемы позволяют убедиться в ее работоспособности.

Список литературы

1. Кобзев, А.В. Энергетическая электроника: учебное пособие./ А.В. Кобзев, Б.И. Коновалов, В.Д. Семенов – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2010. – 164 с.

2. Damrong Amorndechaphon. High-Efficiency PWM DC-AC Inverter for Small PV Power Generation System // International Conference on Cogeneration, Small Power Plants and District Energy, 2016.

Материал поступил в редколлегию 13.10.18.

УДК 681.58

DOI: 10.30987/conferencearticle_5c19e6b8261605.61308776

Л. И. Саляева

(г. Уфа, Уфимский государственный авиационный технический университет)

АЛГОРИТМ РЕАЛИЗАЦИИ САМОКАЛИБРОВКИ ИМИТАТОРА ТЕРМОРЕЗИСТИВНОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ

Рассматривается вариант алгоритма реализации имитатора терморезистивного датчика температуры для диагностики систем управления и контроля температуры.

A variant of the implementation of a simulator of a thermoresistive temperature sensor for diagnosing control systems and temperature control is considered.

Ключевые слова: имитатор, датчик температуры, терморезистор, самокалибровка.

Keywords: simulator, temperature sensor, thermistor, self-calibration.

Для диагностики электронных блоков систем управления (далее СУ) каким-либо механизмом применяют блоки, стенды или комплексы

имитаторов сигналов датчиков и исполнительных механизмов. Испытания СУ при различных температурах проводятся благодаря имитатору термосопротивления, имитирующему сигналы терморезистивных датчиков различных типов.

К имитатору термосопротивления предъявляются следующие требования: диапазон имитируемого сопротивления датчика составляет 32...232 Ом; погрешность задания параметра равна 0,1 Ом; ток, задаваемый от проверяемого блока должен быть не более 5 мА; имитатор должен содержать номинальную статическую характеристику (далее НСХ) термосопротивления П50 по ГОСТ 6651-2009.

Так как моделируемое устройство должно содержать НСХ имитируемого термосопротивления П50, то диапазон имитируемого сопротивления 32...232 Ом соответствует температурному диапазону – 90...+ 1100 °С согласно ГОСТ 6651-2009.

Упрощенная схема разрабатываемого имитатора представлена на рис. 1.

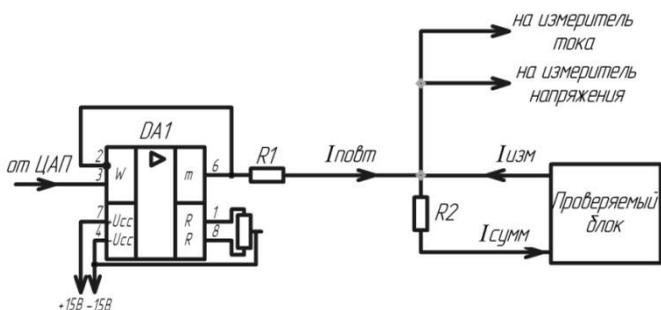


Рис.1. Упрощенная схема имитатора датчика температуры

Цифро-аналоговый преобразователь (далее ЦАП) играет роль устройства регулирования напряжения и устанавливает выходное напряжение в диапазоне от 0 В до напряжения питания 3 В в зависимости от поступающего от системы управления цифрового кода. Роль системы управления играет микроконтроллер.

Установившееся выходное напряжение ЦАП поступает на повторитель DA1, построенный на операционном усилителе, для его согласования с элементом измерения – резистором R2, на который поступает измерительный ток $I_{изм}$ с проверяемого блока и ток $I_{повт}$ с повторителя через резистор R1.

Сопротивления R1 и R2 образуют резистивный делитель напряжения относительно выходного напряжения повторителя. Проверяемый блок переводит падение напряжения на резисторе R2 в температуру.

Для контроля параметров предусматривается также установка измерителей тока и напряжения, данные от которых поступают на микроконтроллер.

Для реализации самокалибровки имитатора терморезистивного датчика температуры сначала необходимо рассчитать основные его параметры: значения номиналов резисторов $R1$ и $R2$, погрешность задания имитируемого сопротивления и отклонение заданной температуры.

Методом контурных токов можно определить напряжение на резисторе $R2$ и соответствующее ему выходное сопротивление имитатора $R_{им}$ [1]:

$$R_{им} = \frac{R2}{I_{изм}(R1 + R2)} (I_{сумм}R1 + U_{ЦАП}), \quad (1)$$

где $I_{изм}$ – измерительный ток с проверяемого блока; $U_{ЦАП}$ – напряжение, устанавливаемое ЦАП.

Согласно формуле (1), сопротивление имитатора $R_{им}$ линейно зависит от устанавливаемого напряжения $U_{ЦАП}$.

Диапазон имитируемых сопротивлений можно определить по формуле

$$R_{им\ max} - R_{им\ min} = \frac{U_{ЦАП\ max} R2}{I_{изм}(R1 + R2)}, \quad (2)$$

где $R_{им\ max}$ – максимальное имитируемое сопротивление; $R_{им\ min}$ – минимальное имитируемое сопротивление.

Так как изначально были заданы величины $R_{им\ min} = 32$ Ом; $R_{им\ max} = 232$ Ом; максимальное выходное напряжение ЦАП $U_{ЦАП\ max} = U_{пит\ ЦАП} = 3$ В, измерительный ток проверяемого блока $I_{изм} = 5$ мА, то были рассчитаны величины сопротивлений $R1 = 96$ Ом и $R2 = 48$ Ом.

Погрешность задания сопротивления обуславливается отклонениями сопротивлений $R1$ и $R2$ от своих номинальных значений. Данную погрешность $\Delta R'_{им}$ можно определить по формуле (3), взяв полный дифференциал $\Delta R_{им}$ по $R1$ и $R2$ [2].

$$\Delta R'_{им} = \frac{R1 \cdot R2 (I_{сумм}R2 - U_{ЦАП})}{I_{сумм}^2 (R1 + R2)^2} \delta_{R1} + \frac{R1 \cdot R2 (I_{сумм}R1 + U_{ЦАП})}{I_{сумм}^2 (R1 + R2)^2} \delta_{R2}, \quad (3)$$

где $\delta_{R1} = \delta_{R2} = 0,1\%$ – относительное отклонение сопротивлений $R1$ и $R2$ от собственного номинала для ряда E192; $U_{ЦАП}$ – выходное напряжение ЦАП.

Так как ЦАП на выходе выдает напряжение в диапазоне от 0 В до 3 В, то погрешность задания сопротивления $\Delta R'_{им}$ согласно формуле (3) будет также определяться диапазоном в соответствии с минимальным и максимальным значениями напряжения $U_{ЦАП}$: $\Delta R'_{им min} = \Delta R'_{им max} = 0,032$ Ом. Таким образом, погрешность задания сопротивления $\Delta R'_{им}$ не превышает заданной погрешности $\Delta R_{им} = 0,1$ Ом.

Используя формулы (1), (3), можно определить отклонение задаваемой температуры:

$$\Delta t = \frac{R1[R2\delta_{R1} - R0(\delta_{R1} - \delta_{R2})]}{R0(R1 + R2)\alpha} - \frac{R1(\delta_{R1} - \delta_{R2})}{R1 + R2} t, \quad (4)$$

где $R0$ – номинальное значение сопротивления имитируемого термосопротивления при 0 °С; α – ТКС имитируемого термосопротивления; t – диапазон значений имитируемой температуры.

Для имитируемого термосопротивления П50 по ГОСТ 6651-2009 приводятся следующие характеристики: номинальное сопротивление $R0 = 50$ Ом, ТКС $\alpha = 0,00391$ °С⁻¹. Согласно формуле (4) определили отклонение задаваемой температуры $\Delta t_{П50} = \pm 0,16$ °С, которое лежит в допустимом пределе.

Для самокалибровки вводится этап сравнения рассчитанного отклонения задаваемой температуры с определенной константой. Если полученное значение Δt превысит константу, то происходит уменьшение на единицу сопротивлений $R1$ и $R2$. В этом случае отклонение имитируемой температуры снижается до значения $\Delta t = 0,1608$ °С. Данная операция повторяется до тех пор, пока отклонение Δt не вернется в установленный диапазон, ограничиваемый константой, которая выставляется вручную оператором или автоматически микроконтроллером.

Благодаря компьютерному моделированию в среде *LabView* удалось автоматизировать расчеты всех параметров имитатора терморезистивного датчика температуры и процесс самокалибровки, а также отобразить данные результаты в виде графиков и цифровой индикации.

Список литературы

1. *Мирина, Т.В.* Функциональные электронные узлы измерительных и диагностических систем: учебное пособие / Т.В. Мирина, Н.В. Мирин – Уфа, 2011. – 303 с.
2. *Ковшевный, А.А.* Имитация объекта контроля для систем управления температурой: тезисы докл. / А.А. Ковшевный, Е.Е. Нужин, А.П. Шестаков / – Екатеринбург: УрФУ, 2016. – С.292-299.

Материал поступил в редколлегию 15.10.18.

А.А. Скворцов
(г. Саратов, Саратовский государственный технический
университет им. Ю.А. Гагарина)

КВАЗИАНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СЛОИСТОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАПОЛНЕНИЯ НА КРИТИЧЕСКУЮ ДЛИНУ ПЕРВОЙ ВЫСШЕЙ ВОЛНЫ ЛУНАРНОГО ВОЛНОВОДА

Рассмотрены квазианалитические выражения, позволяющие оценить влияние электрофизических параметров слоистого диэлектрического заполнения и геометрических размеров лунарного волновода на критическую длину его первой высшей волны.

Quasi-analytical expression allowing evaluating the influence of electro-physical parameters of layered dielectric filling and geometrical sizes of lunar waveguide on its first high order mode cutoff wavelength are considered.

Ключевые слова: квазианалитический расчет, критическая длина, первая высшая волна, лунарный волновод, слоистое диэлектрическое заполнение, прямоугольный волновод, эффективная диэлектрическая проницаемость.

Keywords: quasi-analytical calculation, cutoff wavelength, first high order mode, lunar waveguide, layered dielectric filling, rectangular waveguide, efficient dielectric permittivity.

В настоящее время при построении микроволновых систем различного назначения, включая СВЧ-установки для термообработки диэлектрических материалов [1], все большее применение в качестве базовых элементов находит лунарный волновод (ЛВ) со слоистым диэлектрическим заполнением (рис. 1), позволяющий улучшить технические характеристики и существенно расширить функциональные возможности СВЧ-устройств, выполненных на его основе. Важной задачей, возникающей при построении СВЧ-устройств на базе рассматриваемой линии передачи (ЛП), является расчет критической длины первой высшей волны ЛВ со слоистым диэлектрическим заполнением, знание которой оказывается необходимым для определения диапазона его одноволновой работы.

Определить критическую длину первой высшей волны рассматриваемой ЛП на основе точного аналитического решения внутренней краевой задачи электродинамики не удастся из-за сложной формы границ и слоистого диэлектрического заполнения ЛВ. В связи с этим приходится прибегать к приближенным методам расчета, среди которых, прежде всего, необходимо выделить численные подходы [1, 2], основным достоинством которых является их универсальность, а недостатками – частный характер результатов, значительные трудности математического и вычислительного

характера. Кроме того, первое приближение этих методов достаточно часто дает результат с большой погрешностью. В отличие от численных подходов, квазианалитические (приближенно-аналитические) методы расчета электродинамических параметров ЛП обладают наглядностью, возможностью выявить общие закономерности функционирования волноведущих структур и сравнительной простотой вычислений [1–5].

Критическую длину первой высшей волны ЛВ со слоистым диэлектрическим заполнением можно квазианалитически рассчитать, исходя из замены его на эквивалентный прямоугольный волновод (ПрВ) с размером широкой стенки $\pi(R+r)-t$ [2, 3], заполненный однородным материалом, эффективная диэлектрическая проницаемость которого определяется в соответствии с методикой, подробно описанной в работах [4, 5], по формуле

$$\lambda_{c2} = (\pi(R+r)-t) \sqrt{\varepsilon_{\text{эфф}} \mu_{\text{эфф}}}, \quad (1)$$

где

$$\varepsilon_{\text{эфф}} = \varepsilon_1 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \frac{\varphi(R+r)}{2(\pi(R+r)-t)} \left(1 - \frac{\sin[\pi\varphi(R+r)/(\pi(R+r)-t)]}{\pi\varphi(R+r)/(\pi(R+r)-t)} \right) \quad (2)$$

и $\mu_{\text{эфф}} = \mu_1 = \mu_2$ – относительные эффективные диэлектрическая и магнитная проницаемости слоистого диэлектрического заполнения ЛВ.

Как следует из выражения (2),

$$\varepsilon_{\text{эфф}} = \begin{cases} \varepsilon_1 & \text{при } \varphi = 0; \\ \varepsilon_2 & \text{при } \varphi = 2(\pi-t)/(R+r). \end{cases} \quad (3)$$

По формулам (1)–(3) проведен квазианалитический расчет критической длины первой высшей волны ЛВ при различных значениях геометрических размеров и электрофизических параметров слоистого диэлектрического заполнения. Так, на рис. 2 в качестве примера приведены результаты расчета нормированной критической длины первой высшей волны ($\lambda_{c2}/2R$) ЛВ ($\varepsilon_1 = \mu_1 = \mu_2 = 1$; $t/2R = 0,1$), полученные при различных значениях φ , r/R и ε_2 . Из рис. 2 видно, что $\lambda_{c2}/2R$ ЛВ с рассматриваемым диэлектрическим

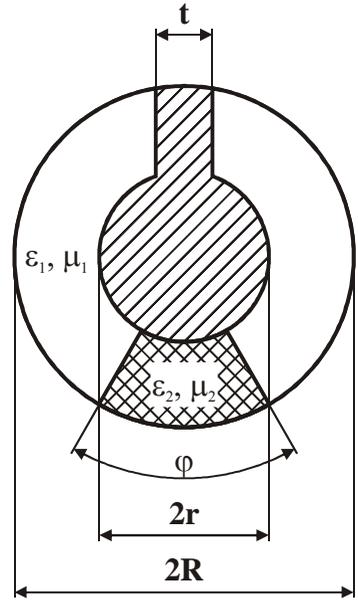


Рис. 1. Поперечное сечение ЛВ со слоистым диэлектрическим заполнением

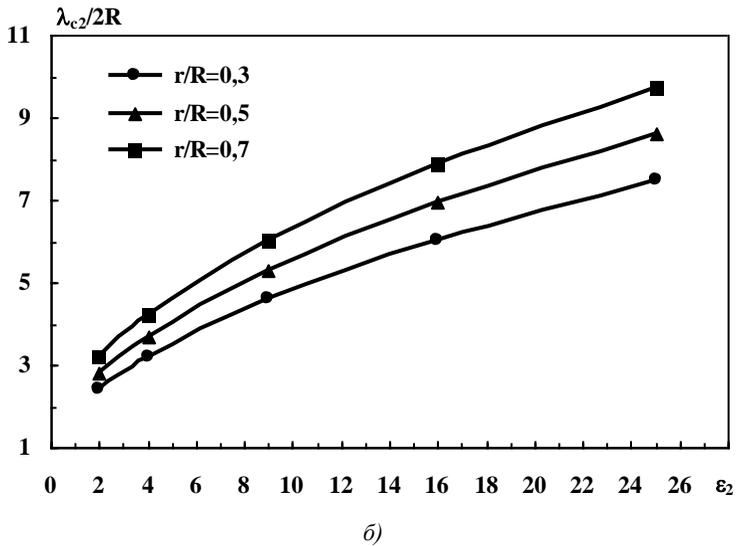
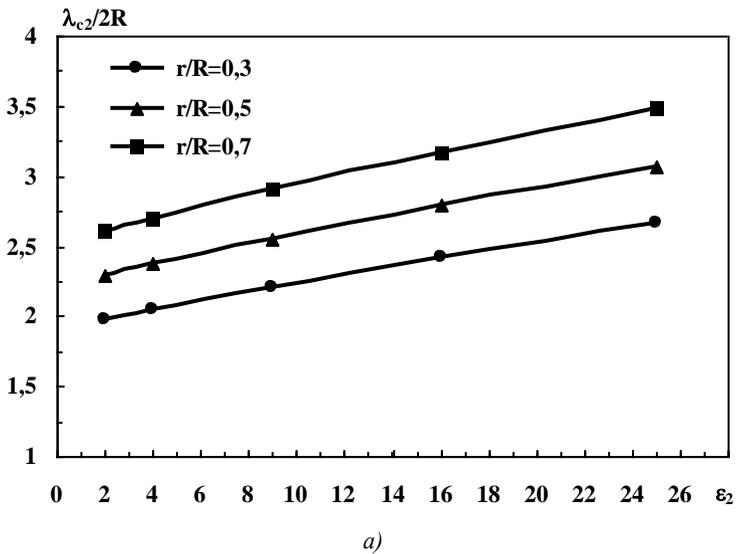


Рис. 2. Зависимость нормированной критической длины первой высшей волны ЛВ от ϵ_2 и r/R при $\varphi = \pi/3$ (а) и $\varphi = \pi$ (б)

заполнением возрастает с увеличением φ , r/R и ϵ_2 при фиксированном $t/2R$.

Таким образом, полученные в настоящей работе квазианалитические выражения позволяют оценить влияние электрофизических параметров слоистого диэлектрического заполнения и геометрических размеров ЛВ на критическую длину его первой высшей волны и могут быть с успехом

использованы при разработке СВЧ-систем различного назначения, выполненных на основе рассматриваемой ЛПП.

Список литературы

1. Коломейцев, В.А. Микроволновые системы с равномерным объемным нагревом. / В. А. Коломейцев, В. В. Комаров. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 1997. – Ч.1. – 160 с.
2. Вольман, В.И. Волноводы, обладающие широкой полосой одноволнового режима / В. И. Вольман, В. Б. Каток // Радиотехника и электроника. – 1978. – № 2. – С. 285–290.
3. Скворцов, А.А. Квазианалитические выражения для определения волнового сопротивления лунарного волновода с однородным диэлектрическим заполнением / А. А. Скворцов // Вопросы электротехнологии. – 2017. – № 3. – С. 86–89.
4. Почерняев, В.Н. Постоянная распространения частично заполненного волновода / В. Н. Почерняев, Л. В. Скрипник // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – 1988. – Т. 31. – № 5. – С.63–64.
5. Chukhov, V.V. One method of propagation constants measurement / V. V. Chukhov // Proceedings of the 4-th International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter, and Submillimeter Waves (MSMW'01). – Kharkov, Ukraine. – 2001. – Vol. 2. – P. 820–822.

Материал поступил в редколлегию 02.10.18.

УДК 621.8; 621.9; 65.011.56

DOI: 10.30987/conferencearticle_5c19e6b9cc6ef0.95201865

Л.А. Тягульская, В.А. Голубев, В.В. Туранский
(г. Рыбница, Рыбницкий филиал Приднестровского государственного
университета им. Т.Г. Шевченко)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ ОПОВЕЩЕНИЯ И КОНТРОЛЯ В УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ

Приведена структура программно-аппаратного комплекса оповещений и контроля электротехнических средств для учебных заведений.

The structure of the hardware-software complex of alerts and control of electrical equipment for educational institutions is given.

Ключевые слова: контроль оповещений в учебных заведениях, управление освещением, отслеживание работы пожарной сигнализации.

Keywords: control of alerts in educational institutions, lighting control, tracking fire alarm.

На сегодняшний день в городе Рыбница Приднестровской Молдавской

Республики, во многих образовательных заведениях подача учебных звонков производится вручную. Вследствие чего возникает ряд проблем: неточная подача учебных звонков дежурным из-за некорректно настроенных часов, человеческий фактор (дежурного могут отвлечь; дежурный забыл про подачу звонков), технические устройства не соединены между собой, в результате чего происходит асинхронная подача звонков.

К тому же, дежурный или другой обслуживающий персонал отвечает еще за пожарную сигнализацию, внутреннее и внешнее освещение учебного корпуса. В связи с этим, актуальной на данный момент является задача реализации программно-аппаратного комплекса, который объединил бы в себе следующие требования: автоматическая подача учебных звонков, управление внутренним и внешним освещением, отслеживание работы пожарной сигнализации, автономность, возможность подключения к персональному компьютеру, для считывания расписания подачи учебных звонков из базы данных и гибкая ручная настройка звонков, а также проверка и синхронизация текущего времени.

Структура данного программно-аппаратного обеспечения состоит из нескольких модулей. Главный модуль – пульт. С его помощью дежурный может следить за работой системы и самостоятельно подавать учебные звонки, звонки об опасности (пожаре) и управлять освещением всего здания. Для более комфортного использования на пульте предусмотрены индикаторы, которые сигнализируют дежурному о корректности работы всей системы, о состоянии датчиков пожарной сигнализации, включен или выключен свет на определенном этаже. Архитектура пульта построена на базе микроконтроллера *Atmega128*. Устройство может работать автономно, но также имеет возможность подключения к персональному компьютеру через *COM*-порт. С помощью специально разработанной программы для персонального компьютера можно гибко настраивать расписание учебных звонков на каждый день или автоматически брать информацию из базы данных, которая заполняется исходя из учебного графика. Остальные модули являются дочерними. Они находятся на этажах, где необходимо подавать звонки или управлять светом. В данном комплексе таких второстепенных частей предусмотрено четыре, в связи с требованиями предметной области. Все они подключены к шине данных, которая соединена с главным модулем.

Один из сложных этапов по разработке программно-аппаратного комплекса – организовать двухсторонний обмен информацией между главным и ведомыми модулями.

Взаимодействие между модулями реализовано на базе стандарта физического уровня интерфейса *RS-485*. *RS-485 (Recommended Standard 485)* – рекомендованный стандарт передачи данных по двухпроводному полудуплексному многоточечному последовательному симметричному каналу связи. Стандарт описывает только физические уровни передачи сигналов. Для приема (передачи) данных используются два равнозначных сигнальных провода. Провода обозначаются латинскими буквами «А» и «В».

По линии «А» всегда идет прямой сигнал. В это же время на линии «В» выводится ровно противоположный уровень. По этим двум проводам идет последовательный обмен данными в обоих направлениях (поочередно).

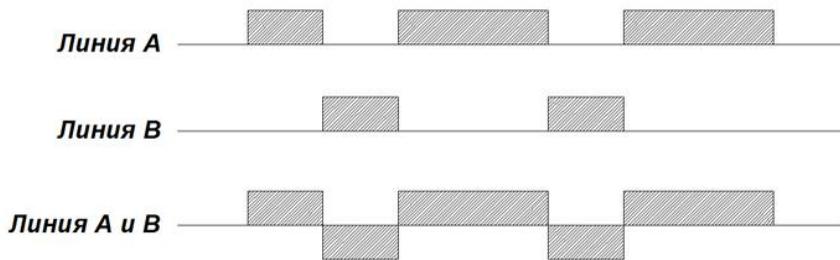


Рис. 1. Передача данных на линии «А» и «В»

Для реализации интерфейса RS-485 необходима микросхема MAX-485 и *Usb-RS485* – преобразователь интерфейса, чтобы подключить линию передачи к персональному компьютеру. MAX-485 имеет два выхода управления RE и DE. RE – разрешение на прием. DE – разрешение на передачу.

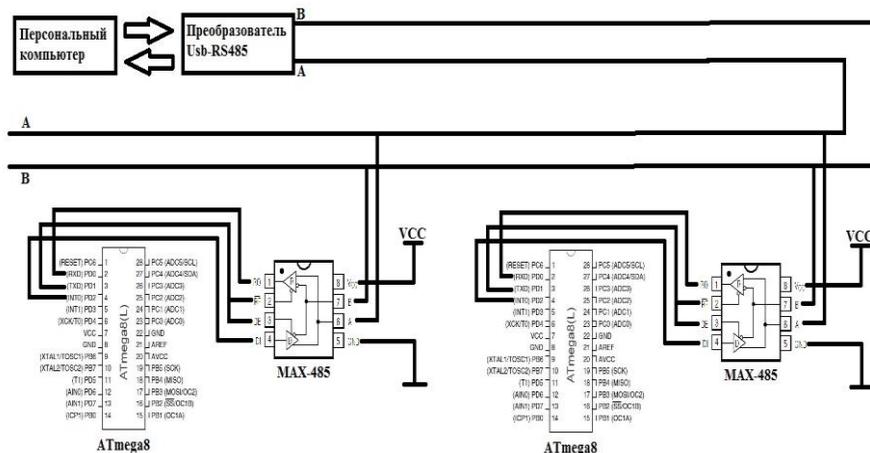


Рис. 2. Схема подключения устройств

В качестве базового управляющего элемента выбран микроконтроллер фирмы *Atmel ATmega8*. Данный микроконтроллер также поддерживает асинхронный приемопередатчик *UART*. К *Atmega8* была подключена микросхема *MAX-485* и преобразователь *Usb-RS485* подключен к компьютеру, как показано на рис. 2.

В данной схеме компьютер выступает в роли «Master», а микроконтроллеры – в роли «Slave». Это обозначает, что, когда компьютер отправляет пакет байтов, *ATmega8* настроена на прием. У каждого микроконтроллера есть свой адрес. Когда на линию *RX* поступает сигнал, в

чипе происходит прерывание и идет проверка адреса микроконтроллера с адресом, указанным в пакете байт. Если адреса совпадают, то идет обработка данных, пришедших в пакете. После обработки *ATmega8* выставляет на линии *TX* логическую «1», что обозначает, что микроконтроллер готов к отправке. После чего происходит отправка пакета байт. Отправка и прием байт на персональном компьютере осуществлялись с помощью программы «*Terminal v1.9b*». В роли протокола – четырехбайтный пакет данных, где первый байт – адрес устройства, второй байт – это запись или чтение с микроконтроллера, третий байт – байт данных и четвертый байт – это стоповый байт. Пример четырехбайтного пакета данных: «*1w3s*».

С помощью данного комплекса подача звонков станет более точной и синхронной, дистанционное управление освещением позволит сэкономить на электроэнергии, а отслеживание работы пожарной сигнализации повысит уровень безопасности организации.

Список литературы

1. Автоматизация [Электронный ресурс]: Википедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Автоматизация> (дата обращения: 07.02.2018).

2. Подключение микроконтроллеров к шине RS-485 [Электронный ресурс]: AVRки.ру. URL: <http://www.avrki.ru/articles/content/rs485/> (дата обращения: 20.01.2018).

Материал поступил в редколлегию 10.10.18.

УДК 004.946

DOI: 10.30987/conferencearticle_5c19e6badda5a5.07169296

Д.М. Умурзакова

(Узбекистан, г. Фергана, Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ В СРЕДЕ ANYLOGIC

Раскрывается многообразие систем автоматизированного проектирования в производстве, показаны их возможности и определены ближайшие перспективы развития. Показаны возможности AnyLogic и их преимущества.

The article reveals the diversity of computer-aided design systems in production, shows their capabilities and identifies the immediate development prospects. The features of AnyLogic and their advantages are shown.

Ключевые слова: САПР, преимущества технологии информационного моделирования, AnyLogic, системная динамика, дискретно-событийное моделирование, агентное моделирование.

Keywords: CAD, advantages of information modeling technology, AnyLogic, system dynamics, discrete-event modeling, agent modeling.

AnyLogic – программное обеспечение для имитационного моделирования, разработанное российской компанией The AnyLogic Company. Инструмент обладает современным графическим интерфейсом и позволяет использовать язык Java для разработки моделей.

В начале 1990-х в компьютерной науке наблюдался большой интерес к построению математически трактуемого описания взаимодействия параллельных процессов. Это сказалось на подходах к анализу корректности параллельных и распределённых программ. Группа учёных из Санкт-Петербургского политехнического университета разработала программное обеспечение для анализа корректности системы; новый инструмент назвали COVERS (Параллельная Верификация и Моделирование). Анализируемая система процессов задавалась графически, с помощью описания её структуры и поведения отдельных параллельных компонентов, которые могли взаимодействовать с окружением — с другими процессами и средой. Инструмент использовался в исследовательских проектах компании Хьюлетт-Паккард (англ. Hewlett-Packard) [1].

В 1998 г. успех этого исследования вдохновил лабораторию организовать коммерческую компанию с миссией создания нового программного обеспечения для имитационного моделирования. Акцент при разработке ставился на прикладные методы: моделирование стохастических систем, оптимизацию и визуализацию модели. Новое программное обеспечение, выпущенное в 2000 г., было основано на последних преимуществах информационных технологий: объектно-ориентированный подход, элементы стандарта UML, языка программирования Java, современного GUI, и т. д.



Рис. 1. Три подхода имитационного моделирования

Продукт получил название AnyLogic, потому что он поддерживал все три известных метода моделирования:

- ✓ Системная динамика.
- ✓ Дискретно-событийное моделирование.

- ✓ Агентное моделирование.

Так же любую комбинацию этих подходов в пределах одной модели. Первой версии был присвоен индекс 4 – Anylogic 4.0, так как нумерация продолжила историю версий предыдущей разработки – COVERS 3.0 [2].

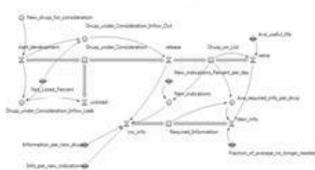
Огромный шаг вперёд был сделан в 2003 году, когда был выпущен AnyLogic 5, ориентированный на бизнес-моделирование. С помощью AnyLogic стало возможным разрабатывать модели в следующих областях:

- ✓ производство;
- ✓ логистика и цепочки поставок;
- ✓ рынок и конкуренция;
- ✓ бизнес-процессы и сфера обслуживания;
- ✓ здравоохранение и фармацевтика;
- ✓ управление активами и проектами;
- ✓ телекоммуникации и информационные системы;
- ✓ социальные и экологические системы;
- ✓ пешеходная динамика;
- ✓ оборона.

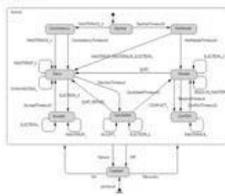
Последней версией программы является AnyLogic 7. AnyLogic 7 написан на языке программирования Java в популярной среде разработки Eclipse. Anylogic 6 является кросс-платформенным программным обеспечением, работает как под управлением операционной системы Windows, так и под Mac OS и Linux.

AnyLogic включает графический язык моделирования, а также позволяет пользователю расширять созданные модели с помощью языка Java. Интеграция компилятора Java в AnyLogic предоставляет более широкие возможности при создании моделей, а также создание Java апплетов, которые могут быть открыты любым браузером. Эти апплеты позволяют легко размещать модели AnyLogic на веб-сайтах. В дополнение к Java-апплетам, AnyLogic Professional поддерживает создание Java-приложений, в этом случае пользователь может запустить модель без инсталляции AnyLogic.

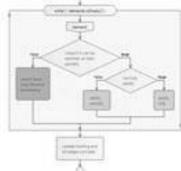
Stock & Flow Diagrams



Statecharts



Action charts



Process flowcharts

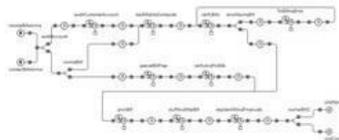


Рис. 2. Конструкции среды моделирования AnyLogic

Графическая среда моделирования AnyLogic включает в себя следующие элементы:

- Stock & Flow Diagrams (диаграмма потоков и накопителей) применяется при разработке моделей, используя метод системной динамики.
- Statecharts (карты состояний) в основном используется в агентных моделях для определения поведения агентов. Но также часто используется в дискретно-событийном моделировании, например для симуляции машинных сбоев.
- Action charts (блок-схемы) используется для построения алгоритмов. Применяется в дискретно-событийном моделировании (маршрутизация звонков) и агентном моделировании (для логики решений агента).
- Process flowcharts (процессные диаграммы) основная конструкция, используемая для определения процессов в дискретно-событийном моделировании.

Среда моделирования также включает: низкоуровневые конструкции моделирования (переменные, уравнения, параметры, события и т.п), формы представления (линии, квадраты, овалы и т.п), элементы анализа (базы данных, гистограммы, графики), стандартные картинки и формы экспериментов.

Среда моделирования AnyLogic поддерживает проектирование, разработку, документирование модели, выполнение компьютерных экспериментов с моделью, включая различные виды анализа — от анализа чувствительности до оптимизации параметров модели относительно некоторого критерия[3].

AnyLogic включает в себя набор следующих стандартных библиотек:

- Process Modeling Library разработана для поддержки дискретно-событийного моделирования в таких областях как Производство, Цепи поставок, Логистика и Здравоохранение. Используя Process Modeling Library, вы можете смоделировать системы реального мира с точки зрения заявок (англ. entity) (сделок, клиентов, продуктов, транспортных средств, и т. д.), процессов (последовательности операций, очередей, задержек), и ресурсов.
- Pedestrian Library создана для моделирования пешеходных потоков в «физической» окружающей среде. Это позволяет создавать модели с большим числом пешеходного трафика (как станции метро, проверки безопасности, улицы и т. д.). Модели поддерживают учёт статистики плотности движения в различных областях. Это гарантирует приемлемую работу пунктов обслуживания с ограничениями по загруженности, оценивает длину простаивания в определённых областях и обнаруживает потенциальные проблемы с внутренней геометрией —

такие, как эффект добавления слишком большого числа препятствий — и другими явлениями.

- Rail Yard Library поддерживает моделирование, имитацию и визуализацию операций сортировочной станции любой сложности и масштаба. Модели сортировочной станции могут использовать комбинированные методы моделирования (дискретно-событийное и агентное моделирование), связанные с действиями при транспортировке: погрузками и разгрузками, распределением ресурсов, обслуживанием, различными бизнес-процессами.

Список литературы

1. Кручинин, С.В. Графическое ядро визуализации и анализа инженерных схем./ С.В. Кручинин, А.М. Кузнецов, С.В. Зотов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011618938 от 27.09.2011. – М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 2011.

2. Денисенко, В.А. Проектирование компьютерной системы на основе рекурсивной когнитивной архитектуры для задачи синтеза интеллектуального поведения агента/ В.А. Денисенко, З.В. Нагоев, О.В. Нагоева // Программные системы и вычислительные методы. – 2013. – 3. – С. 264 – 267. DOI: 10.7256/2305-6061.2013.3.9138.

3. Арзамасцев, С.В. Свойства, методы и события объектов интегрированной интеллектуальной САПР ТПковки на молотах/ С.В. Арзамасцев, А.В. Коновалов, О.Ю. Муйземнек, С.И. Канюков // Программные системы и вычислительные методы. – 2013. – 3. – С. 245 - 249. DOI: 10.7256/2305-6061.2013.3.10542.

Материал поступил в редколлегию 02.10.18.

УДК 004.942

DOI: 10.30987/conferencearticle_5c19e6bc5bcc14.82939406

Д.М. Умурзакова

(Узбекистан, г. Фергана, Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий)

СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассмотрены вопросы имитационного моделирования управленческих процессов в производственной деятельности. Представлены преимущества метода имитационного моделирования и этапы построения моделей на его основе. Приведены краткий обзор и анализ систем имитационного моделирования Arena, Plant Simulation, GPSS.

The issues of simulation modeling of management processes in industrial activity are considered. The author presents the advantages of simulation modelling and the stages of building models on its basis. The article provides a

brief overview and analysis of simulation modelling systems Arena, Plant Simulation, GPSS.

Ключевые слова: система имитационного моделирования, динамическая модель, вероятностная модель, метод Монте-Карло.

Keyword: system of simulation modeling, dynamic model, probabilistic model, the Monte Carlo method.

Одним из наиболее перспективных направлений планирования и управления производством является имитационное моделирование (ИМ), которое позволяет получить качественные и количественные оценки возможных последствий принимаемых решений. В работе высказывается мнение, что имитационные методы - наиболее распространенные средства теории управления и исследования операций в управлении промышленными предприятиями и организациями. Это объясняется тем, что они могут дать инструментальную поддержку анализа функционирования предприятий с целью совершенствования производственных и управленческих процессов, скоординированной и контролируемой работы всех подсистем [1].

Имитационное моделирование может применяться в самых различных сферах деятельности. Особенно эффективно моделирование при решении следующих задач:

- ✓ проектирование и анализ производственных систем; оценка различных систем вооружений;
- ✓ определение требований к оборудованию и протоколам сетей связи;
- ✓ модернизация различных процессов в деловой сфере;
- ✓ определение политики в системах управления запасами;
- ✓ анализ финансовых и экономических систем.

Существует три вида имитационного моделирования: агентное моделирование, системная динамика и дискретно-событийное моделирование. Наиболее подходящим видом имитационного моделирования применительно к вычислительным системам и сетям передачи данных является дискретно-событийное моделирование, поэтому в дальнейшем будет рассматриваться только этот вид моделирования.

Имитационное моделирование является мощным инструментом исследования поведения реальных систем. Методы имитационного моделирования позволяют собрать необходимую информацию о поведении системы путем создания ее компьютерной модели. Эта информация используется затем для проектирования системы [2].

С помощью имитационного моделирования можно ответить на множество вопросов, возникающих в момент принятия решения об изменениях в процессах, происходящих в бизнесе:

- Как изменится рентабельность бизнеса?
- Как проведенные изменения отразятся на производительности технологического оборудования и персонала?
- Какие дополнительные инвестиции потребуются сделать?
- Каков срок окупаемости производимых инвестиций?

Типичные примеры, где может быть с выгодой применено имитационное моделирование:

- ✓ Строительство нового производства любой отрасли: машиностроение, металлургия, нефтехимическая промышленность, деревообработка и др.
- ✓ Расширение и модернизация существующего производства.
- ✓ Постановка на производство новой продукции.
- ✓ Проектирование системы транспортировки угля, руды из шахты на поверхность и далее к потребителям.
- ✓ Организация логистической системы, состоящей из дистрибутивных центров, складов, транспортных средств.
- ✓ Строительство транспортного узла.
- ✓ Технико-экономическое обоснование внедрения автоматизированных систем оперативным управлением производством, складом, транспортным предприятием.

Одна из причин для того, чтобы использовать имитационное моделирование, – это повышение уровня автоматизации производства, нацеленное на повышение производительности, качества продукции и на снижение затрат, приведшее к увеличению сложности производственных систем. А проблемы, возникающие в системах такой сложности, могут быть проанализированы только с применением компьютерного моделирования. Еще одна причина в том, что применение анимации в моделировании повысило возможность большего понимания имитационных моделей неспециалистами в моделировании, т.е. руководителями, менеджерами и инженерами-производственниками.

Компьютерное моделирование включает в себя построение модели отдельного агрегата, технологического процесса, всего производства в целом, логистической системы с применением такого специализированного программного обеспечения, как система имитационного моделирования Arena от компании Rockwell Software. Эта модель будет полностью

воспроизводить все процессы, происходящие в реальности на производстве, складе, в любой логистической системе. Используя модель, можно экспериментировать, проверять разные идеи для понимания того, как реальная система будет вести себя в разных ситуациях. Результаты имитации могут быть использованы при решении оптимизационных задач в качестве оценки значений функциональных характеристик моделируемой системы.

Arena - система имитационного моделирования, которая позволяет создавать динамические модели разнородных процессов и систем, оптимизировать построенную модель. Программа Arena снабжена удобным объектно-ориентированным интерфейсом, обладает широкими функциональными возможностями по адаптации к различным предметным областям.

Основой технологии моделирования Arena являются язык моделирования SIMAN и анимационная система Cinema Animation. Отличается гибкими и выразительными средствами моделирования. Отображение результатов моделирования в Arena выполняется с использованием Cinema Animation. Процесс моделирования организован следующим образом. Сначала пользователь шаг за шагом строит в визуальном редакторе программы Arena модель. Затем система генерирует по ней соответствующий код на SIMAN, после чего автоматически запускается Cinema Animation.

Arena состоит из блоков моделирования (модули) и операций (сущности). Сущности двигаются между модулями по мере их обслуживания.

Plant Simulation — программная среда имитационного моделирования систем и процессов. Решение предназначено для оптимизации материалопотоков, загрузки ресурсов, логистики и метода управления для всех уровней планирования от целого производства и сети производств до отдельных линий и участков (Microsoft Windows).

Plant Simulation входит в состав продуктовой линейки Tecnomatix компании Siemens PLM Software.

Plant Simulation используется во многих отраслях промышленности, например, в автомобилестроении, машиностроении, авиационно-космической промышленности, обрабатывающей промышленности, электронной промышленности, производстве товаров народного потребления, логистике, на транспорте, в судостроении и других отраслях.

Plant Simulation также используется в исследовательских целях учебными заведениями и научными организациями.

GPSS (англ. General Purpose Simulation System — система моделирования общего назначения) — язык моделирования, используемый для имитационного моделирования различных систем, в основном систем массового обслуживания.

Система GPSS была разработана сотрудником фирмы IBM Джефри Гордоном в 1961 году. Гордоном были созданы 5 первых версий языка: GPSS (1961), GPSS II (1963), GPSS III (1965), GPSS/360 (1967) и GPSS V (1971).

Известный ранее только специалистам, в нашей стране этот программный пакет завоевал популярность после издания в СССР в 1980 году монографии Т. Дж. Шрайбера. В ней была рассмотрена одна из ранних версий языка — GPSS/360, а также основные особенности более мощной версии — GPSS V, поддерживаемой компанией IBM, у нас она была более известна как пакет моделирования дискретных систем (ПМДС). Этот пакет работал в среде подсистемы диалоговой обработки системы виртуальных машин единой серии (ПДО СВМ ЕС) ЭВМ. После окончания поддержки GPSS V компанией IBM следующей версией стала система GPSS/H компании Wolverine Software разработанная в 1978 году под руководством Дж. Хенриксена. В 1984 году появилась первая версия GPSS для персональных компьютеров с операционной системой DOS — GPSS/PC. Она была разработана компанией Minuteman Software под руководством С. Кокса. Конец XX века ознаменовался разработкой компанией Minuteman Software программного продукта GPSS World, увидевшей свет в 1993 году. За сравнительно небольшой период времени было выпущено несколько его версий, причем в каждой последующей возможности системы моделирования наращивались. Помимо этих основных версий, существует также Micro-GPSS, разработанная Ингольфом Сталлом в Швеции, — это упрощенная версия, предназначенная для изучения языка GPSS, и WebGPSS, также предназначенная для изучения работы системы и разработки простейших имитационных моделей в сети интернет[3].

Таким образом, можно резюмировать, что имитационное моделирование позволяет учесть максимально возможное число факторов внешней среды для поддержки принятия управленческих решений и является одним из наиболее мощных средств анализа. Необходимость его применения в отечественной практике управления производственными процессами обусловлена особенностями российской экономики, характеризующейся зависимостью от внеэкономических факторов и высокой степенью неопределенности.

Результаты имитации могут быть дополнены вероятностным и статистическим анализом и в целом обеспечивают менеджера наиболее полной информацией о степени влияния ключевых факторов на ожидаемые результаты и возможных сценариях развития событий.

Список литературы

1. Хемди, А. Таха Имитационное моделирование/ А. Таха Хемди // Введение в исследование операций. 7-е изд. – М.: Вильямс, 2007. – С. 697-737.
2. Михеева, Т.В. Обзор существующих программных средств имитационного моделирования при исследовании механизмов функционирования и управления производственными системами/ Т.В. Михеева // Журнал теоретических и прикладных исследований «Известия Алтайского государственного университета». Сер. Управление, вычислительная техника и информатика, 2009. – №1(61).
3. Карпов, Ю.Г. Имитационное моделирование систем / Ю.Г. Карпов. – СПб., 2006.
Материал поступил в редколлегию 05.10.18.

А.И. Федотов, Г.В. Вагапов, Н.В. Чернова
(г. Казань, Казанский государственный энергетический университет)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДУШНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ

Приведены результаты имитационного моделирования распределительной сети 10 кВ. Показано, что при однофазных замыканиях на землю устойчивым признаком наличия повреждения на фидере в виде прерывающейся дуги является состав высших гармоник.

The results of simulation modeling of a 10 kV distribution network are presented. It is shown that with single-phase earth closures, a stable sign of the presence of damage on the feeder in the form of an intermittent arc is the composition of higher harmonics.

Ключевые слова: однофазные замыкания на землю, частотные характеристики воздушных линий, резонансные гармоники тока и напряжения, место повреждения, электрические сети.

Keywords: single-phase earth fault, frequency characteristics of overhead lines, resonant harmonics of current and voltage, fault location, electrical networks.

По данным эксплуатирующих организаций и литературных источников, преобладающим видом повреждений в воздушных распределительных электрических сетях напряжением 6 – 35 кВ являются однофазные замыкания на землю (ОЗЗ). При появлении ОЗЗ необходимо его распознать и определить расстояние до места повреждения, а при невозможности определения точки ООЗ – локализовать участок воздушной линии (ВЛ) с повреждением. Существуют различные подходы к решению данной задачи [1-3], но до сих пор не найден достаточно эффективный способ идентификации места замыкания. Объясняется это широким разнообразием аварийных режимных параметров сети в случае возникновения повреждения, которые могут послужить источником информации по установлению удаленности ОЗЗ от центра питания (ЦП). В связи с этим представляется маловероятным существование единого универсального способа установления собственно факта повреждения и определения расстояния до места повреждения, работоспособного во всех возможных случаях. Складывается ситуация, аналогичная давно пройденному этапу в релейной защите, где для одного объекта (генератор, трансформатор, ВЛ и т.д.) выполняется несколько видов защит, основанных на выделении разных признаков аварийного события. Есть вполне устойчивый признак ОЗЗ, который принципиально зависит от удаленности ОЗЗ и может быть выделен на базе штатных измерительных

устройств подстанции, – это «резонансные» частоты линии электропередачи [1-3], на которых происходит резкое увеличение напряжения высших гармоник (ВГ) на конце ВЛ и тока в начале соответствующей линии. Перемежающаяся дуга является генератором широкого спектра ВГ тока и напряжения, тем самым обуславливается возможность усиления отдельных гармоник и соотношения с местом подключения их источника [2].

Идентификация резонансных ВГ напряжения возможна как на шинах ЦП по напряжению нулевой последовательности, так и на шинах 0,4 кВ понижающих подстанций, но уже только по напряжениям прямой и обратной последовательностей [1]. В результате можно построить достаточно простую систему определения места повреждения, если иметь информацию по качеству электроэнергии с подстанций 10/0,4 кВ и ограничиться идентификацией поврежденного участка. Рассмотрим в качестве примера схему фидера древовидной структуры (рис. 1). На рис. 2 представлена имитационная модель фидера, собранная в среде RSCAD.

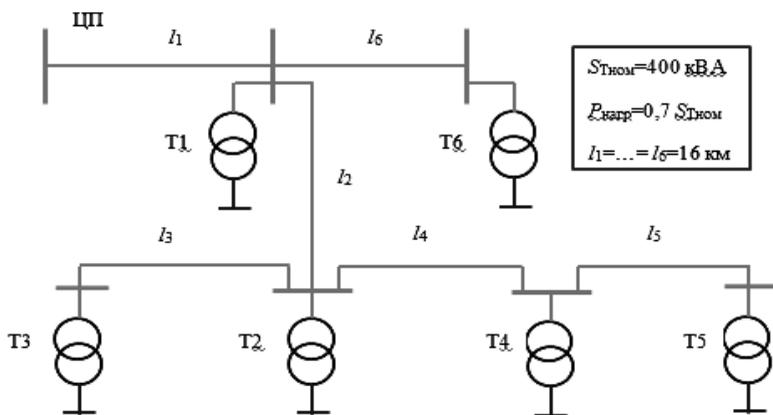


Рис. 1. Принципиальная схема фидера

В схеме (рис. 2) ОЗЗ воспроизводится ключом, замыкающим фазу «а» один раз за каждый полупериод промышленной частоты на землю. Место замыкания принималось последовательно на стороне высшего напряжения каждого из трансформаторов. Измерения напряжения проводились на стороне 0,4 кВ каждого трансформатора с последующим подавлением основной гармоники и определением спектрального состава напряжения. На рис. 3 в качестве примера представлен спектральный состав напряжений на стороне 0,4 кВ для трансформаторов Т1 (рис. 3а) и Т2 (рис. 3б) при ОЗЗ на стороне высшего напряжения трансформатора Т2 (рис. 1). По оси ординат напряжение приведено в киловольтах. На ближайшей к месту повреждения подстанции напряжение «резонансной» гармоники выше (рис. 3).

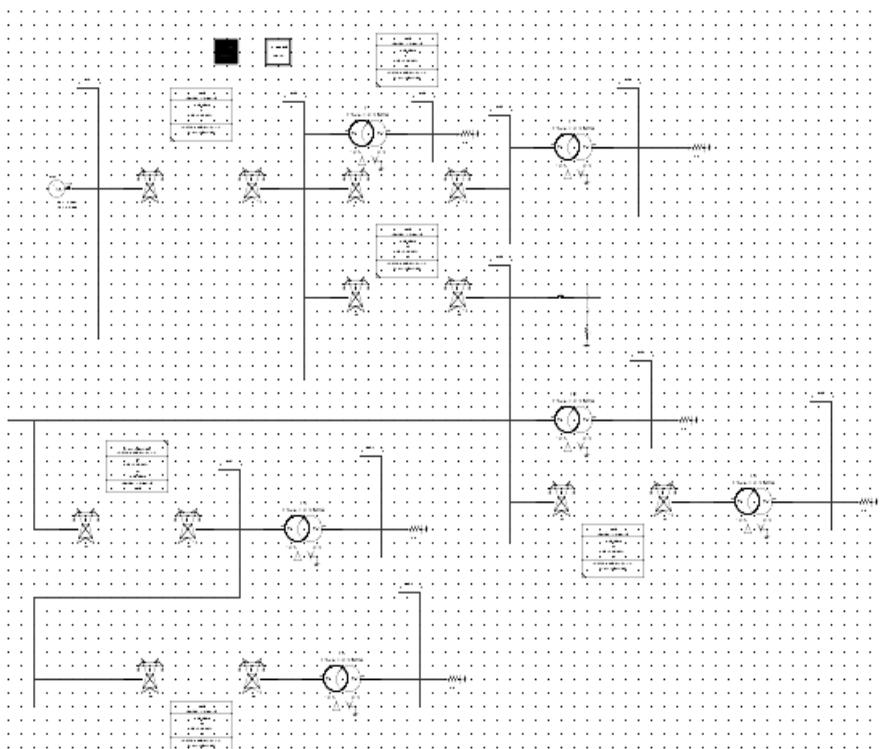
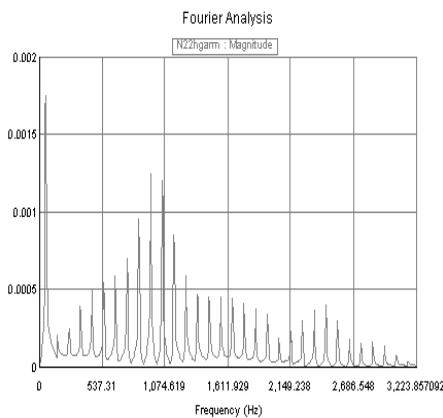
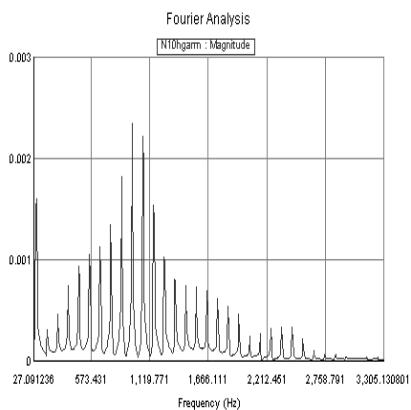


Рис. 2. Имитационная модель фидера в среде RSCAD



а)



б)

Рис. 3. Спектральный состав напряжений на стороне 0,4 кВ

Анализ полученных закономерностей изменения напряжения резонансных гармоник по подстанциям в зависимости от места замыкания показал следующее. Во-первых, резонансные гармоники отчетливо проявляются на стороне 0,4 кВ трансформаторных подстанций. Во-вторых, частота резонансной гармоники зависит от удаленности замыкания: чем ближе к ЦП источник ВГ, тем выше резонансная частота. Таким образом, значение частоты служит маркером удаленности ОЗЗ. Модельные эксперименты показали, что увеличение активного контактного сопротивления в месте замыкания сохраняет значение резонансной частоты (950 Гц), но снижает уровень напряжений ВГ на всех подстанциях. Так, при переходном сопротивлении 200 Ом напряжение резонансной гармоники на стороне 0,4 кВ трансформатора Т2 снизилось с 2,33 до 0,55 В. В-третьих, путем сравнения уровня напряжений резонансных гармоник на стороне 0,4 кВ трансформаторных подстанций можно установить поврежденный участок фидера между двумя соседними подстанциями.

Прежде чем ставить задачу поиска места повреждения при ОЗЗ, необходимо определиться с фидером, на котором произошло повреждение. Эта задача, несмотря на кажущуюся простоту, осложняется малыми величинами токов ОЗЗ для воздушных линий. Опыт эксплуатации показывает, что достаточно часто искомый фидер не устанавливается действующими устройствами релейной защиты, а в некоторых случаях и сам факт ОЗЗ ими не выявляется. Натурный эксперимент в действующих электрических сетях при ОЗЗ через ствол дерева показал, что штатная система релейной защиты не почувствовала аварийной ситуации, напряжение нулевой последовательности на шинах ЦП составило 11 В. В то же время в этом напряжении проявились ВГ (рис. 4) изначально отсутствовавшие.

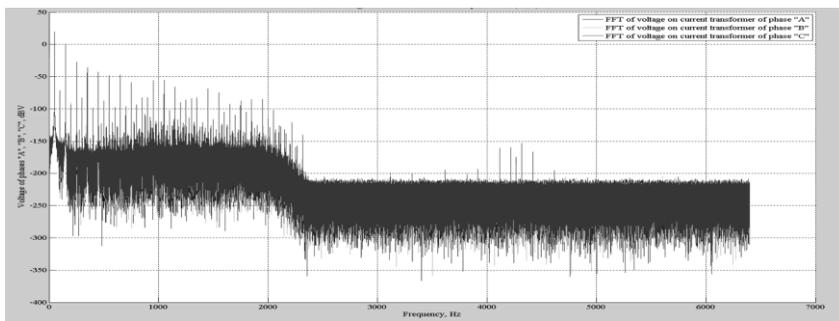
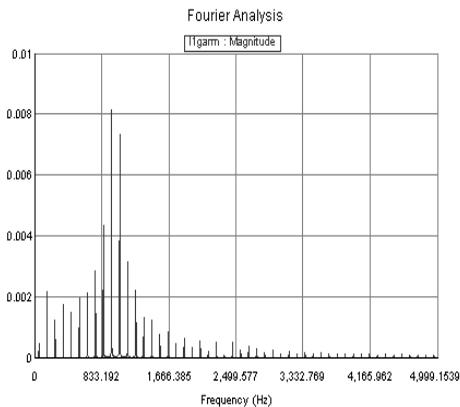
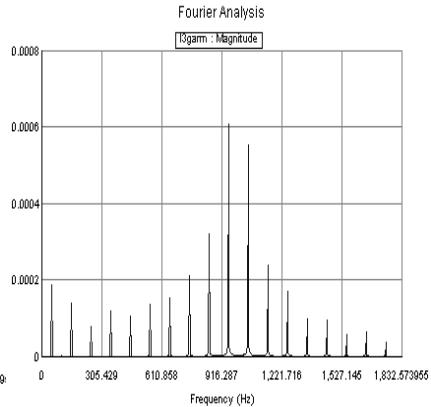


Рис. 4. Спектр напряжения в логарифмическом масштабе

В среде RSCAD были выполнены расчеты режима ОЗЗ при переходном сопротивлении в месте ОЗЗ равном 100 Ом для случая пяти отходящих линий. На рис. 5 представлены спектры токов, «очищенные» от



а)



б)

Рис. 5. Спектральный состав токов в воздушных линиях

первой гармоники, при воспроизведении ОЗЗ на первой линии (рис. 5а) для неповрежденных линий токи ВГ на порядок ниже (рис. 5б).

Вариации нагрузок на подстанциях, увеличение переходного сопротивления, изменение длин линий показали устойчивость идентификации ОЗЗ на фидере по наибольшему значению резонансной гармоники.

При наличии в токах высших гармоник, обусловленных нагрузкой и элементами электрической сети, использования совокупности нескольких резонансных гармоник позволяет надежно отстроиться от шума и обеспечить надлежащую селективность.

Список литературы

1. Федотов, А.И. Определение мест обрыва и однофазных замыканий на землю в распределительных электрических сетях по параметрам режима на стороне 0,4 кВ понижающих подстанций / А.И. Федотов, Г.В. Вагапов, Н.В. Роженцова, Р.Э. Абдуллазянов // Промышленная энергетика. – 2016. – №4. – С. 34-40.
2. Fedotov, A. Detection of places of single-phase ground fault by frequency of the resonance / A. Fedotov, R. Abdullazyanov, G. Vagapov, L. Grackova // 57th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering (RTUCON-2016) of Riga Technical University 13-14 October. – Riga. – P. 214-219.
3. Fedotov, A. Location of single-phase ground fault by positive, negative and zero sequence of overhead power lines in ungrounded power grids of 6-10-35 kV level voltage / A. Fedotov, G. Vagapov, N. Chernova // Proceedings of the 9th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering «ELEKTROENERGETIKA 2017» 12–14 September, 2017, Stará Lesná, Slovak Republic. - Technical University of Košice, 2017. – P. 384-388.

Материал поступил в редколлегию 02.10.18.

А.А. Арбузова

(г. Иваново, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России)

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛЯ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЯ

Описана разработка оригинального модуля программного продукта для составления технологической последовательности обработки изделия. Приведена структура разработанного модуля программного обеспечения для составления технологической последовательности.

This article is devoted to the issue related to the development of the original module of the software product for the preparation of the technological sequence of product processing. The structure of the developed software module for compiling a technological sequence is given. This data storage includes the following structure: a package of materials and processing methods.

Ключевые слова: база данных, программное обеспечение, технологический процесс.

Keywords: database, software, technological process.

Ни одно промышленное предприятие, чья деятельность связана со сложными технологическими процессами, не обходится без программного обеспечения проектирования и расчета изготавливаемых изделий [1, 2]. В работе любого швейного предприятия такое программное обеспечение также является неотъемлемой частью. Необходимо отметить, что в настоящее время этап по составлению технологической последовательности усложняется из-за многообразия конструкторско-технологических решений модели, параметров пакета материала и парка оборудования предприятия. Непосредственное влияние на структуру процесса изготовления изделия оказывают конструкция узлов и используемые материалы. От данных параметров зависит желаемая форма изделия [3, 4].

Для того чтобы облегчить работу технолога и обеспечить высокое качество и функциональность процесса разрабатывается программный продукт, позволяющий в автоматизированном режиме формировать технологическую последовательность изготовления изделия. На рис. 1 и 2 показаны структура модуля составления технологической последовательности. Ключевым аспектом является выбор методов обработки основных узлов изделия.

В проектируемом модуле выделены этапы работы с данными: загрузка, преобразование, хранение и анализ.

Ключевыми входными данными проектируемого модуля являются эскиз изготавливаемого изделия, пакет материалов и имеющийся парк оборудования. Показатели ценовая категория и качество конечного продукта



Рис. 1 Схема процесса работы с данными

Структура модуля формирования технологической последовательности

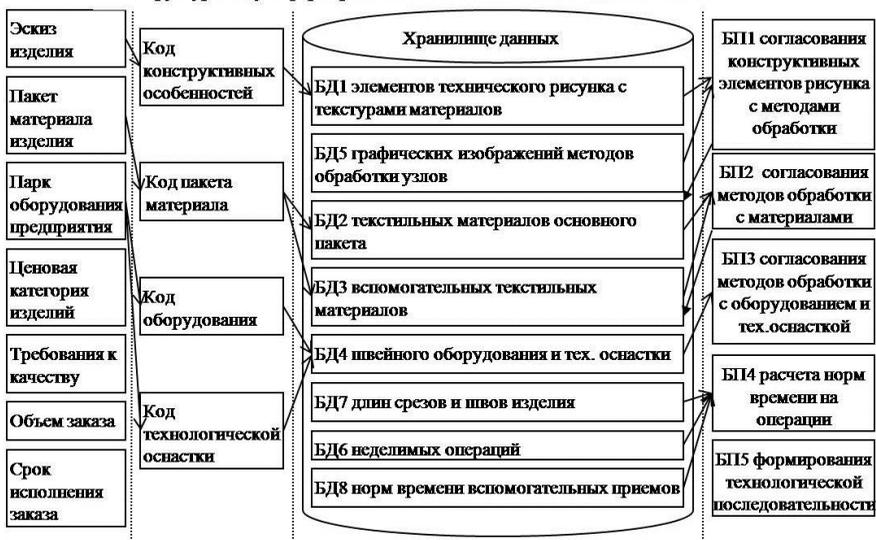


Рис. 2 Характеристика основных составляющих модуля составления технологической последовательности

значимы на этапе принятия окончательного решения при выборе вариантов методов обработки узлов технологом, а объема заказа и срок его исполнения позволяют оценить адаптивность полученных значений относительно исходных. Хранилище данных содержит традиционные базы данных БД4, БД5, БД8 и уникальные БД1, БД2, БД3, БД6 и БД7, разрабатываемые для эффективного функционирования проектируемого модуля. Отличительной особенностью от других программ являются базы правил (БП), необходимые

для многокритериального выбора методов обработки. Между базами данных и базами правил существуют прямые и обратные связи.

Для разработки программного обеспечения принята следующая структура хранилища данных (рис. 3).



Рис. 3. Структура хранилища данных

В связи с тем, что разработка программного обеспечения требует существенных временных и трудовых затрат дальнейшая работа направлена на создание базы данных, включающую БД1, БД2, БД3 и БД5.

Список литературы

1. Арбузова, А.А. Математическое и информационное моделирование процесса распознавания визуальных свойств текстильных материалов / А.А. Арбузова // Современные материалы, техника и технология: материалы 3-й Международной научно-практической конференции. – Курск, 2013. – С. 48.
2. Сомова, И.С. Оценка возможности использования программного продукта AnyLogic для имитации технологического процесса швейного производства / И.С. Сомова, А.А. Арбузова // Сборник материалов межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов с международным участием «Молодые ученые - развитию текстильно-промышленного кластера (ПОЙСК-2016)», Иваново, 2016. – С. 436-437.
3. Арбузова, А.А. К вопросу об использовании трехмерного моделирования реальных объектов / А.А. Арбузова, Т.С. Здюмаева // Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции «Социально-экономические и естественно-научные парадигмы современности». – Ростов-на-Дону, 2018. – С.424-428.
4. Михайлов, Д.Ю. Оценка возможности использования 3D-туров в обучающем процессе пожарных и спасателей / Д.Ю. Михайлов, А.А. Арбузова // Сборник материалов II Межвузовской научно-практической конференции «Актуальные вопросы естествознания». – Иваново, 2017. – С. 129-132.

Материал поступил в редколлегию 09.10.18.

А.А. Штин, А.А. Шарафуллина
(г. Ижевск, Ижевский государственный технический университет
им. М.Т. Калашникова)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MULTISIM

Рассмотрены особенности моделирования в Multisim таких элементов электрических цепей, как реальные и идеальные катушки индуктивности.

Features of modeling in Multisim of such elements of electric circuits as real and ideal coils of inductance are considered.

Ключевые слова: моделирование, индуктивность, добротность, резонансная частота, активное сопротивление.

Keywords: simulation, inductance, quality factor, resonance frequency, active resistance.

Компьютерное моделирование в настоящее время широко используется в самых различных областях науки и техники. В частности, в учебном процессе оно позволяет сократить затраты на оборудование, необходимое для проведения лабораторных работ.

Multisim используется на кафедре «Электротехника» ИжГТУ [1] и является одной из наиболее востребованных программных сред для моделирования электронных и электротехнических устройств. В то же время процесс моделирования индуктивных элементов слабо освещен в литературе, в том числе и в руководстве разработчика [2].

Цель работы – выяснение адекватности моделей реальной и идеальной индуктивностей.

Катушка индуктивности представлена в *Multisim* тремя моделями: *INDUCTOR*, *INDUCTOR_ADVANCED* и *INDUCTOR_RATED*.

INDUCTOR – это модель идеальной индуктивности, не имеющей паразитных параметров. Единственный параметр, задаваемый пользователем, – индуктивность (*Inductance*). В некоторых случаях может быть задан начальный ток (*Initial conditions*).

Данный компонент иллюстрируется схемой на рис. 1, на которой идеальная индуктивность $L1$ подключена к идеальному источнику $V1$.

Активная мощность по показаниям ваттметра на рис.1 и коэффициент мощности $\cos\varphi$ (*Power factor*) равны нулю.

Заметим, что в рассмотренной схеме значение начального тока выбрано равным -1 А. В противном случае осциллограмма тока будет иметь постоянную составляющую, что не совсем реально.

В схемах, моделирующих реальные устройства, всегда присутствуют активные сопротивления и этот эффект не проявляется. Таким образом, модель идеальной индуктивности может использоваться без каких-либо оговорок.

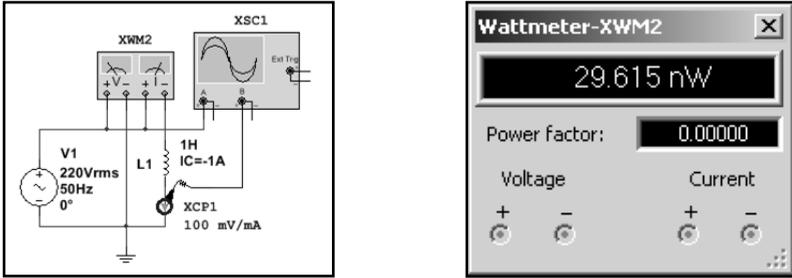


Рис. 1. Схема включения идеальной индуктивности:
XWM2 – ваттметр, XSC1 – осциллограф, XCP1 – датчик тока

INDUCTOR_ADVANCED – это модель реальной индуктивности, которая характеризуется следующими параметрами:

- номинальная индуктивность - *Nominal inductance (Lo)*;
- собственная частота резонанса - *Inductor self resonant frequency (fo)*;
- последовательное сопротивление - *Inductor series resistance (Rdc)*;
- добротность - *Inductor quality factor (Q)*;
- номинальный ток - *Inductor rated current (Idc)*.

Эквивалентная схема, соответствующая модели данного компонента, и собственно модель показаны на рис. 2.

Параметры Cp и Rp на рис. 2 в соответствии с используемой в *Multisim SPICE* - моделью рассчитываются следующим образом:

$$Cp = \frac{1}{2\pi^2 fo^2 Lo}, \quad Rp = Q \cdot 2\pi fo Lo. \quad (1)$$

Параметры, входящие в выражения (1), были приведены выше.

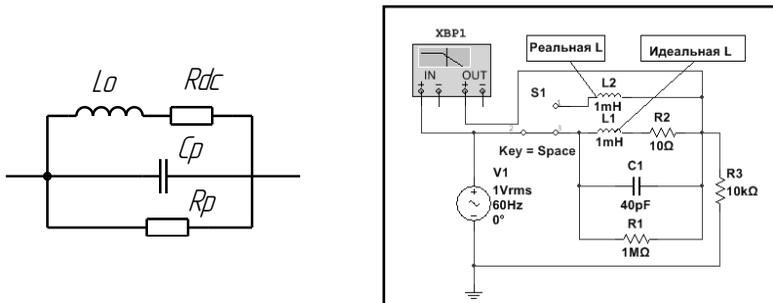


Рис. 2. Эквивалентная схема реальной индуктивности

Проверка модели реальной индуктивности проводилась путем включения ее в схему режекторного фильтра, как показано на рис. 2.

Были выбраны следующие значения: $L_o = 1$ мГн, $Q = 200$, $f_o = 0,8$ МГц, $R_{dc} = 10$ Ом. Параметры эквивалентной схемы выбирались в соответствии с формулами (1): $C_p \approx 40$ пФ, $R_p = 1$ Мом. К выходу схемы подключен виртуальный прибор для измерения амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик (АЧХ и ФЧХ). В терминах *Multisim* – это *Bode Plotter*.

Показания прибора показаны на рис. 3 и практически одинаковы для обоих положений переключателя *S1*. Видно, что резонансная частота соответствует заданной, т.е. 799,136 кГц (практически 0,8 МГц).

На рис. 4 показаны АЧХ и ФЧХ той же схемы, но для значения $Q = 5$, т.е. $R_p = R_l = 25$ кОм. Они практически одинаковы для обоих положений *S1*.

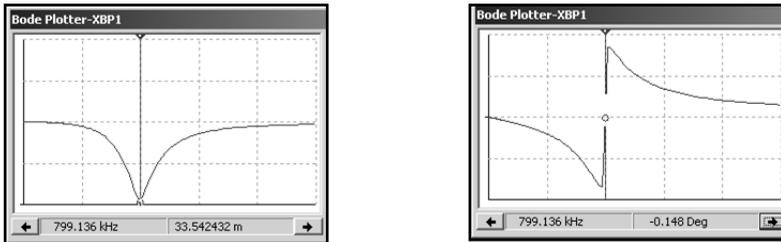


Рис. 3. АЧХ и ФЧХ цепей на рис. 4 для $Q = 200$

Видно, что резонансная частота не изменилась, а резонансный режим путем уменьшения добротности стал менее выраженным.

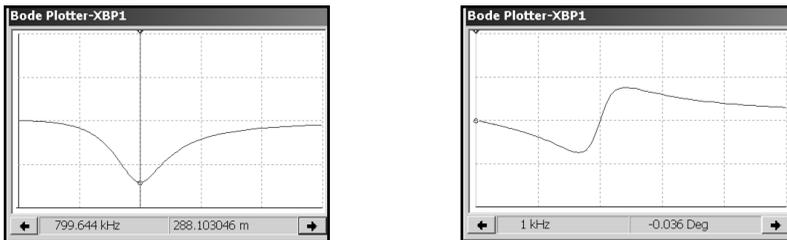


Рис. 4. АЧХ и ФЧХ цепей на рис. 4 для $Q = 5$

Следует заметить, что данная модель имеет недостаток, так как добротность Q задается в виде постоянной величины. На практике добротность является функцией частоты [3].

INDUCTOR_RATED - упрощенная модель индуктивности, имеющая следующие параметры:

- фактор задержки анимации (*Animation shutdown factor*);
- индуктивность (*Inductance*);
- активное сопротивление (*Coil resistance*);
- допустимый ток (*Current rated*);
- начальные условия (*Initial conditions*).

Эта модель позволяет отобразить аварийный режим. Сущность данной модели состоит в том, что превышение допустимого тока (в данном случае 0,3 А) приводит к выходу индуктивного элемента L1 из строя. Это проявляется в изменении внешнего вида элемента L1 на схеме (рис. 5).

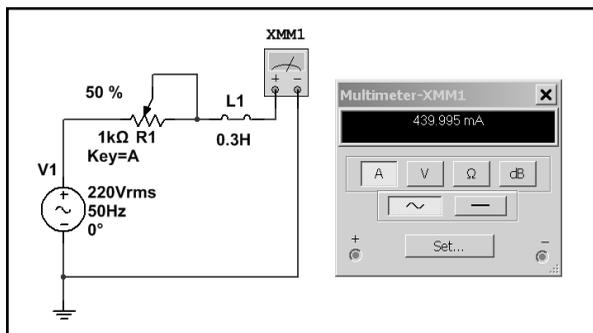


Рис. 5. Аварийный режим работы индуктивности

Кроме того, изменяются его электрические параметры. В частности, индуктивность и активное сопротивление становятся равными нулю. Заметим, что обычно отказ индуктивных элементов проявляется в виде обрыва проводника либо в виде межвиткового замыкания.

Фактор задержки анимации определяет временной интервал, с момента наступления аварийного режима до момента изменения внешнего вида индуктивного элемента и режима работы схемы.

Выводы. Идеальная и реальная индуктивности моделируются в Multisim вполне адекватно. Однако в модели реальной индуктивности не учитывается зависимость добротности от частоты, что может влиять на процесс моделирования радиотехнических схем.

Кроме того, превышение допустимого тока может привести к разрыву цепи с индуктивностью. Это явление также не учитывается в модели индуктивности **INDUCTOR_RATED**.

Наконец, все три рассмотренные модели индуктивных элементов на схеме Multisim отображаются совершенно идентично, что требует дополнительных разъяснений в учебно-методических материалах.

Список литературы

1. Штин, А.А. Электротехнические дисциплины в среде моделирования *Multisim*: лабораторный практикум: учеб. пособие для вузов. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, 2016. – 220 с.
2. *Multisim*. Руководство пользователя. *National Instruments Corporation*: 2007. – 491 с.
3. Кушнир, Ф.В. Электрорадиоизмерения: учебное пособие для вузов/ Ф.В. Кушнир, В.Г. Савенко. – Л.: "Энергия", 1975. – 368 с.

Материал поступил в редколлегию 11.10.18.

М. В. Ярославцев

(г. Новосибирск, Новосибирский государственный технический университет)

РАСЧЕТ ТЯГОВЫХ СЕТЕЙ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА СО СТАЦИОНАРНЫМИ НАКОПИТЕЛЯМИ ЭНЕРГИИ

Предложено применение стационарных накопительных постов в составе тяговых сетей городского электротранспорта с целью увеличения длины межподстанционных зон при строительстве новых линий. Предложена конструкция накопительного поста. С помощью разработанной математической модели тяговой сети определены его основные характеристики.

Application of stationary energy storage posts in the traction networks is proposed to enlarge contact line section length between traction substations for the newly constructed lines. Design of the storage post is discussed. Its main properties are evaluated using proposed traction network model.

Ключевые слова: тяговая сеть, межподстанционная зона, троллейбус, потребление энергии, накопитель энергии.

Keywords: traction network, traction substation distance, trolleybus, energy consumption, energy storage.

Активный рост городской территории, повышение связности улично-дорожной сети и изменение преобладающих направлений пассажирских потоков создают потребность в развитии сетей городского электрического транспорта, как более производительного его вида. Однако, обладая меньшими эксплуатационными затратами из-за низкой стоимости потребляемых энергетических ресурсов, электрифицированный транспорт требует высоких капитальных вложений в строительство новых линий. Одной из основных причин относительно высокой начальной стоимости линейной инфраструктуры городского электротранспорта является потребность в организации систем электроснабжения. Как правило, через каждые 1 – 3 км является необходимым строительство тяговых подстанций, сопряженное с потребностью в отводе земельных участков, а также прокладке подземных кабельных линий.

Одним из основных факторов, ограничивающих расстояние между тяговыми подстанциями, являются потери энергии в тяговых сетях. Наиболее значительно оно проявляется в условиях сравнительно малой интенсивности движения, при которых суммарный ток, потребляемый всеми транспортными средствами, находящимися на секции контактной сети, является относительно малым. В этих условиях реализация мероприятий,

направленных на стабилизацию уровня напряжения в контактной сети, позволила бы увеличить длину секций тяговой сети и соответственно расстояние между тяговыми подстанциями [1, 2].

В настоящее время становятся доступны эффективные устройства для накопления электрической энергии. К ним можно отнести конденсаторы двойного электрического слоя (КДЭС), а также литий-титанатные аккумуляторные батареи (ЛТА). На их основе становится возможным создание устройств, стабилизирующих уровень напряжения контактной сети [3]. При превышении напряжением в точке подключения к сети определенного значения такое устройство потребляет ток, заряжая накопитель. При понижении уровня напряжения вследствие потребления энергии транспортными средствами в режиме тяги накопитель переходит в режим разряда. Напряжение накопителя целесообразно выбирать близким к уровню 510 В, что равно минимально допустимому среднему уровню напряжения в тяговой сети по требованиям правил технической эксплуатации (уровень потерь 90 В относительно номинального напряжения холостого хода тяговой подстанции) [4].

Для определения эффективности предложенного решения необходимо установить мощность накопителя, место его установки и энергоемкость. Для этого был использован метод вероятностного эксперимента [1, 5]. Было рассмотрено большое количество возможных ситуаций, отличающихся между собой числом поездов на секции и потребляемых ими токами. В качестве исходных данных для расчета использовано распределение тяговых токов, потребляемых троллейбусом. Распределение было получено экспериментально при помощи бортового регистратора, установленного на троллейбус [6]. Для заданного набора поездных токов была определена величина падения напряжения в конце секции при равномерном распределении транспортных средств по ее длине.

Как показывают расчеты, применение накопителей энергии позволяет исключить просадку напряжения при больших кратковременных нагрузках и увеличить длину секций тяговой сети на 60 ... 100%, причем при низкой интенсивности движения эффективность применения накопителей энергии возрастает [4]. Требуемая мощность тяговых подстанций возрастает пропорционально длине секции.

Результаты моделирования представлены в табл. 1. Основным фактором, лимитирующим длину секции, является равенство средних мощностей заряда и разряда накопителя. Согласно результатам расчета, координату установки накопителя целесообразно принимать около 90% от длины секции.

Более точным методом определения эффекта от применения накопительных пунктов является применение имитационных моделей,

использующих метод расчета мгновенных схем замещения тяговой сети [2, 7]. Для его применения является необходимой реализация модели накопителя энергии в составе систем тягового энергоснабжения. В модели накопитель энергии является нелинейным элементом. Он имеет ограничение по принимаемому и отдаваемому току, степени заряда. Для учета этих особенностей применен метод последовательных приближений. При решении системы уравнений, описывающей мгновенную схему замещения, последовательно уточняется ток накопителя. В результате определяется фактическое напряжение контактной сети в точке подключения к ней накопительного пункта.

Таблица 1. Расчет наибольшей допустимой длины секции тяговой сети

Интервал движения, мин	Длина секции без НЭ, км	Длина секции с НЭ, км	Напряжение НЭ, В	Средняя мощность заряда и разряда, кВт	Наибольшая мощность разряда, кВт	Расстояние до накопителя энергии, км	Емкость накопителя энергии, МДж
2	1,8	2,9	512	20,4	350	2,65	2,45
3	2,1	3,5	512	18,9	238	3,2	2,27
5	2,4	4,6	512	15,8	218	4,1	1,90
10	3,1	6,5	512	13,6	210	5,7	1,63

Конструкция накопительного пункта должна предусматривать размещение самого накопителя и преобразователя напряжения. Для повышения КПД преобразователя диапазон колебаний напряжения конденсатора (в случае применения КДЭС) целесообразно выбирать близким к диапазону колебаний напряжения тяговой сети, например 350 ... 700 В. Согласно результатам моделирования, полная емкость накопителя с учетом неиспользуемого запаса энергии составит 0,6 ... 0,9 кВт·ч в зависимости от интенсивности движения. При удельной емкости конденсаторов двойного электрического слоя 4 Вт·ч/кг вес накопителя составит 150 ... 250 кг, а объем при плотности энергии 8 Вт·ч/л – 0,07 ... 0,12 м³ [4]. Таким образом, размещение накопительного пункта не требует строительства специальных зданий.

Преобразователи накопительных установок по уровням напряжения и номинальной мощности весьма близки к тяговым преобразователям троллейбусов с коллекторными тяговыми двигателями и могут быть изготовлены на их основе. Необходимые доработки состоят в исключении

силовой цепи регулирования возбуждения и в изменении программы системы управления.

Стоимость накопительного пункта значительно ниже стоимости строительства новой тяговой подстанции, что подтверждает эффективность предлагаемого решения даже при относительно небольшом выигрыше по длине секций тяговой сети. Большое значение имеет применение накопительных постов в зимнее время, так как с вызванным работой отопительных приборов ростом мощности собственных нужд возрастают потери энергии в тяговых сетях [6]. Другим преимуществом предлагаемого решения является повышение надежности работы системы электроснабжения. Эффективность применения накопительных пунктов в системе электроснабжения трамвая будет ниже вследствие меньшего удельного сопротивления тяговой сети, а также высокой доли путей в капитальных затратах, связанных со строительством новых линий.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-08-00656-а.

Список литературы

1. *Spiridonov, E.* Evaluation of energy recuperation efficiency for operating conditions of city electric transport / E. Spiridonov, M. Yaroslavtsev // 11 International forum on strategic technology (IFOST 2016) : proc., Novosibirsk, 1–3 June 2016. – Novosibirsk: NSTU, 2016.– Pt. 2.– P. 61-64.

2. *Ярославцев, М.В.* Определение электрических потерь в тяговой сети городского электротранспорта моделированием мгновенных схем замещения / М. В. Ярославцев // САПР и моделирование в современной электронике: сборник научных трудов I Международной научно-практической конференции.– 2017.– С. 109-112.

3. *Штанг, А.А.* Применение накопителей энергии в системах электроснабжения городского электрического транспорта / А. А. Штанг, Е. А. Спиридонов, М. В. Ярославцев // Транспорт Российской Федерации.– 2012.– № 3-4 (40-41).– С. 68-70.

4. *Yaroslavtsev, M.V.* Increasing the Length of Trolleybus Contact Line Sections by Installation of Stationary Energy Storage Posts / M. V. Yaroslavtsev // The 19 international conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices, EDM 2018: proc., Eragol, Altai, 29 June – 3 July 2018.– IEEE Computer Society, 2018. – P. 473-476.

5. *Ярославцев, М.В.* Определение параметров энергоустановки гибридного автомобиля моделированием процесса потребления энергии / М. В. Ярославцев // Электротехника.– 2014.– № 12. – С. 17-21.

6. *Мятеж, А.В.* Исследование сезонных изменений потребления электрической энергии троллейбусом / А. В. Мятеж, М. В. Ярославцев, Д. Д. Забелина // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока.– 2014.– № 1-2.– С. 282-286.

7. *Кузнецов, С.М.* Исследование на математической модели переходных процессов в тяговой сети железных дорог постоянного тока при пуске поезда / С. М. Кузнецов, И. С. Демиденко, М. В. Ярославцев, А. В. Гашкова, А. О. Кривова // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока.– 2009.– № 2.– С. 324-327.

Материал поступил в редколлегию 11.10.18.

СОДЕРЖАНИЕ

Часть 2

СЕКЦИЯ «МУЛЬТИФИЗИЧЕСКОЕ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ, ПОВЕДЕНЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ»	3
Антипин Д.Я., Высоцкий А.М., Колчина Е.В. Прогнозирование ресурса рамы универсального вагона-платформы с использованием современных элементов САПР	3
Бондаренко О.И., Антипин Д.Я. Методика оценки безопасности пассажирского подвижного состава при аварийном опрокидывании с использованием элементов САПР	6
Ашуркова С.Н., Антипин Д.Я. Применение современных элементов САПР для анализа напряженно-деформированного состояния несущих конструкций кузовов пассажирских вагонов.....	10
Ахремчик О.Л., Базулев И.И. Выделение ситуаций при проектировании систем сигнализации для термоиспытаний электронной техники	14
Воронин В.В. Принцип доминирования в технической диагностике.....	16
Викторов А.А., Васильева Л.Н. Разработка консольного приложения для арифметических операций над комплексными числами	18
Галиев Э. Х., Ханнанова Г. И., Салахов Р. Н. Анализ устойчивости и качества регулирования частотным методом на основе построения ЛАХ и ЛФХ	22
Доненко И.Л., Доненко А.В., Лукьяненко В.А. Моделирование фрактальных фотонных кристаллов, полученных на фрактальной дифракционной решетке.....	26
Индюхов К.А., Батенков К.А., Миронов А.Е., Стремоухов М.В. Математическое представление импульсного шума в системах связи XDSL.....	28
Илюшин М.В., Антонов И.М., Карабцев И.А. Эффективное сжатие речевого сигнала в виде псевдоизображения	30
Порубай О.В. Многомасштабные вейвлет- преобразования как методы решения задач сжатия сигналов.....	34
Румянцев А.А., Хабибулин Р.Р., Александров А.С. Автоматизация проектирования рейтинга научных сотрудников КНИТУ-КАИ.....	39
СЕКЦИЯ «МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ»....	42
Быстрова И. В., Подкопаев Б.П. Диагностическое моделирование сетей из цифровых автоматов	42
Бугарев И.Ю. Исследование нелинейных динамических процессов в составных преобразователях	47

Веремчук А.С., Панишев В.С. Методика реализации универсального эмулятора	55
Доненко И.Л., Доненко А.В., Лукьяненко В.А. Математическое моделирование нелинейных параболических уравнений в фрактальном отображении поля лазерного излучения в свободном пространстве	57
Корнеев А.П., Ларькина Т.С. Исследование электромеханической системы с распределенными параметрами	59
Корнеев А.П., Ленеvский Г.С. Математическое моделирование электромеханической системы с распределенными параметрами в Matlab	63
Крылов В.П., Богачев А.М., Пронин Т.Ю., Мищенко А.А. Мультиканальная идентификация моделей физических процессов релаксации емкости полупроводниковых барьерных структур	67
Малаханов А.А. Вариант реализации математической модели импульсного преобразователя напряжения с коррекцией коэффициента мощности в SciLab	70
Потапов Л.А., Школин А.Н., Гадашев Д.Г. Теплоэлектрическое моделирование высокочастотных импульсных преобразователей напряжения ..	75
Татмышевский К.В. Моделирование механолюминесцентного сенсора импульсного давления с учетом предыстории нагружения	83
Турко В. А. Актуальность математического моделирования в сложных экономических системах	86
Ахунджанов У.Ю. Распространение одномерных нелинейных пластических волн в однородной среде	90

СЕКЦИЯ «МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ, ФИЗИЧЕСКИХ И РАДИОСИСТЕМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, ПРОИЗВОДСТВЕ, НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ»..... 94

Батенков К.А. Моделирование временных параметров обработки очередей в телекоммуникационной сети в программной среде Riverbed	94
Быков К.В., Лазарева Н.М., Павлов Ю.В., Яров В.М. Динамические процессы в LLC-конверторе с ФИМ-управлением	97
Быков К.В., Лазарева Н.М., Павлов Ю.В., Яров В.М. Понижающе-повышающий конвертор как звено системы управления.....	101
Гадашев Д.Г., Школин А.Н. Моделирование инвертора с векторной широтно-импульсной модуляцией	105
Галиев Э.Х., Гилязов А. И., Умутбаев Р.Р. Моделирование системы стабилизации изображения	109
Зотин В.Ф. Управление скоростью нарастания обратного напряжения при испытании диодов Шоттки	113
Данилкин Е.И., Власов А.И. Моделирование импульсного реверсивного источника питания с удаленным управлением.....	116
Кихтенко С.Н. Применение пакета MathCAD при изучении тепловых процессов	119

Кихтенко С.Н. Моделирование физических процессов в MathCAD при изучении электродинамики.....	122
Климачев В.С., Малаханов А.А. Источник питания для газоразрядной индикации цифровых часов на основе импульсного преобразователя постоянного напряжения	125
Латыпова Э.Р., Нурлыгаянова Е.Ф. Исследование факторов, определяющих качество электрохимического полирования лопаток ГТД.....	128
Литвинчѳв К.А., Левый Д.В., Матлахов В.П., Перешивко И.О. Разработка управляющей программы для фрезерного станка с ЧПУ для изготовления печатных плат.....	133
Малинин Г.В., Севриков Л.С. Виртуальная модель солнечного микроинвертора, работающего на промышленную сеть	137
Маргынов А.А., Бершадский И.А., Халявинская Н.М. САПР компании CSOFT как инструмент для проектирования электротехнических систем.....	140
Медведев И.И. Компьютерное моделирование схем электронных устройств в учебном процессе	143
Охунов Д.М., Охунов М.Х. Разработка модели выбора автоматизируемых объектов для реализации процессов управления работами по созданию и развитию информационных систем.....	147
Пивторак А.В. Модернизация двухтактной силовой ячейки с однополярной реверсивной модуляцией.....	151
Саляева Л.И. Алгоритм реализации самокалибровки имитатора терморезистивного датчика температуры.....	153
Скворцов А.А. Квазианалитическая оценка влияния слоистого диэлектрического заполнения на критическую длину первой высшей волны лунарного волновода	157
Тягульская Л.А., Голубев В.А., Туранский В.В. Проектирование системы управления техническими средствами оповещения и контроля в учебных заведениях	160
Умурзакова Д.М. Имитационное моделирование систем в среде AnyLogic ...	163
Умурзакова Д.М. Системы имитационного моделирования.....	167
Федотов А.И., Вагапов Г.В., Чернова Н.В. Моделирование воздушной электрической сети при однофазных замыканиях на землю.....	172
Арбузова А.А. Разработка и применение модуля программного продукта для моделирования параметров технологического процесса изготовления изделия..	177
Шгин А.А., Шарафуллина А.А. Моделирование индуктивных элементов в программной среде Multisim	180
Ярославцев М.В. Расчет тяговых сетей городского электрического транспорта со стационарными накопителями энергии.....	184