

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ “МЭИ”
АКАДЕМИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ НАУК
АССОЦИАЦИЯ МЕЖДУНАРОДНЫХ ОТДЕЛОВ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ (АМО)
РОССИЙСКО-КИРГИЗСКИЙ КОНСОРЦИУМ ТЕХНИЧЕСКИХ
УНИВЕРСИТЕТОВ

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА

ДВАДЦАТЬ ТРЕТЬЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

2 - 3 марта 2017 г.
МОСКВА

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

ТОМ
1



МОСКВА

Издательский дом МЭИ

2017

УДК 621.3+621.37[(043.2)]

P 154

Мероприятие проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Проект № 17-38-10024-мол_2

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕ-
P 154 ТИКА: Двадцать третья Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (2—3 марта 2017 г., Москва): Тез. докл. В 3 т. Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2017. — 356 с.

ISBN 978-5-383-01077-8

ISBN 978-5-383-01078-5 (Том 1)

Помещенные в первом томе сборника тезисы докладов студентов и аспирантов российских и зарубежных вузов освещают основные направления современной радиотехники, электроники и информационных технологий.

Сборник предназначен для студентов, аспирантов, преподавателей вузов и инженеров, интересующихся указанными выше направлениями науки и техники.

В отдельных случаях в авторские оригиналы внесены изменения технического характера. Как правило, сохранена авторская редакция.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Роголёв Н.Д. — ректор, председатель Оргкомитета

В.К. Драгунов — проректор по научной работе, сопредседатель

Т.А. Степанова — проректор по учебной работе, сопредседатель

Е.В. Бычкова — научный сотрудник кафедры АЭП, ответственный секретарь

С.А. Цырук — помощник проректора по научной работе

А.Е. Тарасов — начальник отдела международных связей

С.А. Грузков — директор ИЭТ

И.Н. Мирошникова — директор ИРЭ

А.В. Дедов — директор ИТАЭ

П.А. Бутырин — директор ИЭЭ

В.П. Лунин — директор АВТИ

С.А. Серков — директор ЭнМИ

С.В. Захаров — директор ИПЭЭф

А.Ю. Невский — директор ИнЭИ

А.С. Федулов — директор филиала МЭИ в г. Смоленске

М.М. Султанов — директор филиала МЭИ в г. Волжский

С.А. Абдулкеримов — директор филиала МЭИ в г. Душанбе

Н.И. Файрушин — директор Энергетического колледжа (филиал МЭИ)

в г. Конаково

ISBN 978-5-383-01077-8

ISBN 978-5-383-01078-5 (Том 1)

© Авторы, 2017

© Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2017

Направление
РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Научный руководитель направления —

директор ИРЭ, д.т.н.,
профессор И.Н. Мирошникова

Секция 1

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАДИОТЕХНИКИ

Председатель секции — д.т.н., профессор В.Г. Карташев

Секретарь секции — к.т.н., доцент Е.В. Шалимова

А.С. Андреев, А.Ю. Гурьянов, аспиранты;
рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДОВОГО СОСТАВА ВОЛНОВОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ШИРОКОФОРМАТНОМ ПРЯМОУГОЛЬНОМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ ПРИ ПОМОЩИ АЛГОРИТМА ЛЕВЕНБЕРГА—МАРКВАРДА

В процессе исследования распределенной связи прямоугольных диэлектрических волноводов разных форматов удобным представляется разложение волновых образований в них по собственным волнам этих волноводов, т.е. модовому спектру.

При проведении эксперимента с применением сканера электромагнитных (ЭМ) полей мы получаем пространственную карту напряжений с диодного детектора. Совокупная детекторная характеристика тракта является нелинейной, и это приводит к тому, что мы не можем установить модовый состав поля, используя непосредственное разложение полученной карты напряжений по модам волновода.

В качестве решения данной проблемы предлагается использовать численный алгоритм Левенберга—Марквардта. Данный алгоритм представляет собой многомерный метод наименьших квадратов. В качестве базисных функций использовались приближенные функции, описывающие моды прямоугольного диэлектрического волновода с известными из

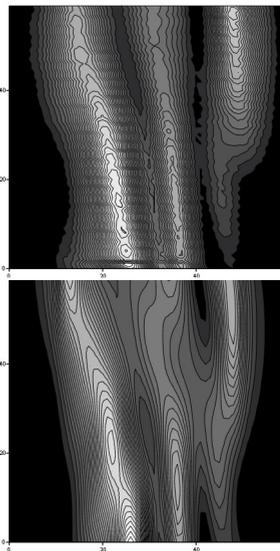


Рис. 1. Тональная карта распределения ЭМ полей. Сверху — эксперимент; снизу — результат аппроксимации с применением алгоритма

эксперимента замедлениями для конкретного формата волновода. Применение данного метода на экспериментальных данных позволило успешно восстановить комплексные амплитуды мод, распространяющихся в волноводе (рис. 1).

Данный подход можно обобщить на произвольные волноведущие структуры. Это позволит упростить экспериментальный анализ интерференционных процессов в них. В частности, благодаря данному подходу, становится возможным получить экспериментальные зависимости коэффициентов связи различных мод для связанных многомодовых диэлектрических волноводов.

А.А. Бабенко, студ.; рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНТЕННА НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ С ДВУМЯ РАБОЧИМИ ЧАСТОТАМИ

Благодаря явлению распределенной связи диэлектрических волноводов становится возможным построение узлов на их основе, обладающих специфическими свойствами, недоступными при использовании металлических волноводов. Одним из этих свойств является зависимость переходного ослабления от частоты на участке связи, что можно использовать для создания так называемых частотных разделителей – специализированных узлов, разделяющих сигналы различных частот [1], на основе которых можно получить антенну, имеющую возможность работы одновременно на двух разных частотах.

Главным компонентом антенны с двумя рабочими частотами является частотный разделитель на диэлектрических волноводах, рассчитанный таким образом, что на одном плече из основного диэлектрического волновода полностью ответвляется сигнал первой рабочей частоты, а на другом — второй рабочей частоты. Таким образом, появляется возможность использовать антенну одновременно в качестве передающей и приемной.

Основной проблемой при реализации данной антенны является поиск оптимальных параметров для получения достаточно высокого значения (не менее 25 дБ) развязки между используемыми рабочими частотами на выходах антенного устройства.

В рамках данной работы проводится исследование характеристик частотно-разделительных устройств на диэлектрических волноводах и поиск оптимальной конструкции для реализации антенны с двумя рабочими частотами.

На первом этапе разработки проведено компьютерное моделирование с использованием специализированного программного обеспечения Ansoft HFSS [2] (эскиз модели представлен на рис. 1). После расчета различных вариантов конструкции антенны проведены физическая реализация и последующие испытания и оптимизация.

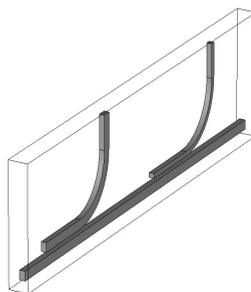


Рис. 1. Модель частотного разделителя

Литература

1. **Взятыхшев В.Ф.** Диэлектрические волноводы. М.: Советское радио, 1970.
2. **Банков С.Е., Курушин А.А.** Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft. М.: ЗАО «НПП «РОДНИК», 2009.

А.В. Воронов, студ.; рук. С.В. Владимиров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ

Существуют общественные помещения с ограниченным доступом. Для реализации данных ограничений используются системы контроля и управления доступом. Контроль доступа имеет важное значение как в промышленных, так и в бытовых нуждах.

В докладе рассматривается система контроля и управления доступом с ограничением по времени для конкретного случая – доступ к прачечным помещениям в общежитии. Причиной необходимости контроля доступа является нарушение графика использования прачечной студентами.

Система контроля и управления доступом реализована на микрокомпьютере LeMaker Banana Pi. Доступ осуществляется посредством RFID меток с рабочей частотой 125 кГц. Поскольку вход в общежитие происходит при помощи данных меток, то отпадает необходимость иметь различные средства аутентификации.

Система контроля и управления доступом является модульной, что позволяет легко подстроить ее под несколько иную задачу или улучшить (например, возможно добавление обратной связи с пользователем посредством GSM).

Система работает следующим образом: в назначенное время пользователь открывает дверь с электромеханическим замком для осуществления стирки. Для управления замком непосредственно микрокомпьютером сделан специальный модуль.

Реализована система сессий – после аутентификации пользователя его доступ в течение определенного времени неограничен.

Данные о пользователях хранятся в базе данных, редактирование которой может осуществляться посредством web-интерфейса. Запись пользователей на определенное время также возможно осуществить при помощи web-интерфейса.

Весь исходный код системы написан на Python 2.7, что обуславливает простоту в обслуживании программной части системы контроля и управления доступом.

В дальнейшем планируется сделать систему более универсальной и добавить возможность монетизации.

А.Ю. Гурьянов, А.С. Андреев, аспиранты; А.А. Бабенко, студ.;
рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА НЕИЗЛУЧАЮЩЕГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА

Неизлучающий диэлектрический волновод (НДВ) [1] является гибридом диэлектрического (ДВ) и металлического (МВ) волноводов. Общее число публикаций в данном направлении — порядка 300, больше половины из них опубликованы в период с 2003 по 2013 годы, что является признаком актуальности и важности работ. Волноводные переходы с НДВ на другие типы волноводов и структуры почти не охвачены патентами и статьями.

Настоящая работа посвящена исследованию параметров оптимальных по ширине частотного диапазона неизлучающих диэлектрических волноводов и как приложение к методике проектирования волноводных переходов. В работе приведена зависимость ширины частотного диапазона от форм-фактора [2] волновода (рис. 1). Для неизлучающего режима существует некоторый оптимальный форм-фактор, при котором достигается максимальная ширина диапазона перекрытия по частоте. Были исследованы зависимости оптимального форм-фактора от параметров среды и предложены эмпирические формулы для их оценки, а также разработан метод инженерного расчета физических параметров неизлучающих диэлектрических волноводов, который является одним из этапов расчета волноводных переходов.

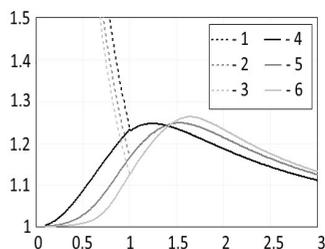


Рис. 1. Зависимость коэффициента перекрытия от форм-фактора для различных соотношений диэлектрических проницаемостей: 1 — диапазон при $\chi = 2,25$; 2 — диапазон при $\chi = 5$; 3 — диапазон при $\chi = 10$; 4 — диапазон неизлучения при $\chi = 2,25$; 5 — диапазон неизлучения при $\chi = 5$; 6 — диапазон неизлучения при $\chi = 10$

Литература

1. Tsukasa Yoneyama, Shigeo Nishida. Nonradiative dielectric waveguide for millimeter-wave integrated circuits // Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on, 1981.
2. Guryanov A.Y., Krutskih V.V. Metal waveguide to semi-shielded dielectric waveguide front trans-ducers // 24th Int. Crimean Conference «Microwave & Telecommunication technology». 2014. Vol 2. P. 629—630.

*В.С. Екимовская, студ.; рук. С.В. Владимиров, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ»)*

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО КУРСУ «ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАДИОТЕХНИКИ»

Очень важно заинтересовать современных студентов в изучении своей специальности. В первом семестре студенты радиотехнического факультета изучают курс «Физические основы радиотехники». Основные задачи этого курса – вызвать у студентов интерес к радиотехнике [1], обучить их основным навыкам проведения эксперимента и инициировать инженерную деятельность.

Как показывает опыт, большинство студентов-первокурсников приходят со слабой теоретической и практической подготовкой. На протяжении всего обучения специальности они получают недостаточно практических навыков, необходимых для инженера-радиотехника. Разрабатываемый лабораторный практикум призван изменить это положение.

Для проведения цикла лабораторных работ по курсу «Физические основы радиотехники» разработаны ряд конструкций и методика, которые в доступной и красочной форме демонстрируют принцип работы дискретных радиотехнических элементов и классических схем на их основе [2].

Разработаны новые демонстрационные модули на современной элементной базе. Электрические модули, собранные на цифровых интегральных микросхемах, помогут освоить азы цифровой техники и сконструировать несложные устройства на их основе. На базе модуля с операционным усилителем и нескольких дискретных элементов можно самостоятельно собрать радиоприемное устройство.

Литература

1. **Штыков В.В.** Букварь молодого радиста или введение в радиотехнику. Украина: Освита Украина, 2012.
2. **Алексамян Р.Г.** Собери сам 55—65 электронных устройств из наборов «Мастер Кит». Выпуски 1—3. М.: Издательский дом «Додека», 2003.

А.А. Кальщикова, асп.; рук. В.В. Штыков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ В ТРУБАХ

Математический анализ упругих колебаний в осесимметричных структурах, например в трубах, является сложной задачей, точное аналитическое решение которой в общем виде до сих пор не найдено. Особенно трудными для аналитического решения являются задачи дифракции и отражения упругих волн, а также анализ изменения их модового состава при взаимодействии со структурными акустическими неоднородностями.

Например, аналитическое решение задачи канализации волн вдоль гладких поверхностей и регулярных или стохастических неоднородностей найдено в приближенном виде [1], однако решение ограничено конечным набором волноводных структур. Поэтому в задачах расчета распространения упругих колебаний широко используются численные методы расчета с использованием автоматизированных средств моделирования, например COMSOL, ANSYS, CST.

Исследование процессов распространения упругих колебаний является актуальной задачей в области дефектоскопии в применении к неразрушающему контролю газо- и нефтепроводов. Основной целью задачи дефектоскопии является синтез аппаратно-программных методов обнаружения дефектов на этапах изготовления и эксплуатации трубопроводов, связанных с коррозией металла, трещинами, сколами и срезами.

В процессе моделирования получены методы построения как модели трубы, так и дефектов, исследованы возможности по формированию сложных зондирующих сигналов, а также синтеза решетки излучателей произвольной структуры с использованием связи MatLab и COMSOL.

Перспективными направлениями развития являются задачи обработки эхо-сигналов, принятых от акустических неоднородностей: выделение полезного сигнала от дефекта, его дальнейшая классификация по форме, длительности и амплитуде для выявления «опасных» дефектов.

Моделирование является эффективным средством для верификации теоретических расчетов до построения затратных с финансовой точки зрения стендов для экспериментальных работ. Моделирование также является ключом к визуализации и дальнейшему пониманию физических механизмов возбуждения и распространения упругих колебаний в осесимметричных структурах.

Литература

1. **Крылов В.В.** Особенности волноводного распространения поверхностных волн в сложных топографических структурах // Акустический журнал. 1987. Т. XXXIII. Вып. 4. С. 699—706.

Д.В. Леонов, асп.; рук-ли В.А. Гречихин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);
В.А. Фин, к.т.н., с.н.с. (НИИТП, Москва); Н.С. Кульберг, к.ф.-м.н.
(ГБУЗ «НПЦМР ДЗМ», Москва)

АЛГОРИТМЫ УЛУЧШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА РЕЖИМА ЦВЕТОВОГО ДОПЛЕРОВСКОГО КАРТИРОВАНИЯ КРОВОТОКА В УЗМДУ

Цифровое доплеровское картирование (ЦДК) — один из самых ресурсоемких режимов ультразвукового медицинского диагностического устройства (УЗМДУ). Он используется, в частности, для анализа кровотока и для поиска камней и кальцинатов.

Для наших задач ансамбль ЦДК представим в виде

$$\mathbf{x} = [x(0), x(1), \dots, x(N_D - 1)]^T = \mathbf{b} + \mathbf{c} + \mathbf{n} + \mathbf{s}; \quad (1)$$

$$x(k) = \dot{B} \cdot e^{j\omega_b t k} + \dot{C} \cdot e^{j\omega_c t k} + \dot{N} + \dot{S}, \text{ при } k = 0, 1, \dots, N_D - 1, \quad (2)$$

где \mathbf{x} — массив комплексных амплитуд N_D импульсов доплеровской пачки, прошедшей пространственно-временную и квадратурную обработки; \mathbf{b} , \mathbf{c} , \mathbf{n} и \mathbf{s} — векторы длиной N_D , соответствующие компонентам отражения от эритроцитов (\mathbf{b}), тканей (\mathbf{c}) и солевых отложений (\mathbf{s}), а также шумовой компоненте (\mathbf{n}); ω_b и ω_c — доплеровские сдвиги частоты, вызванные движением эритроцитов и ткани, соответственно.

В докладе решается задача надежного выделения и оценки параметров кровотока. Для ее решения разработан алгоритм, действующий на этапе фильтрации и формирования маски прозрачности, обеспечивающий улучшение показателя «чувствительность/специфичность» и снижение вычислительных затрат, учитывающий пространственную нестационарность компоненты отражения от тканей. Приводятся результаты его испытания на программной модели, фантоме и данных *in vivo*.

Для задачи поиска кальцинатов предложен новый алгоритм работы вычислителя УЗМДУ, учитывающий особенности отраженного от кальцинатов сигнала: пониженная корреляция и высокое среднеквадратическое отклонение.

В докладе приводятся результаты экспериментальных наблюдений фантомов с кальцинатами различных форм, плотностей и размеров [1]. Делаются выводы о возможности и условиях их обнаружения.

Литература

1. Леонов Д.В., Кульберг Н.С., Фин В.А. Исследование мерцающего артефакта на фантоме в режиме цветового доплеровского картирования // ИУСА: Труды IV ВНКМУ с международным участием. Т. II. Тверь: ТГТУ, 2016. С. 44–51.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ ОБЪЕКТА

Рассматривается задача определения формы поверхности металлического объекта по сигналам многоканального радиоинтерферометра. Объект испытывает удар, от которого происходят его деформация и дальнейшее движение в сторону антенной системы радиоинтерферометра. Облучение объекта происходит в ближней зоне. Центральный канал работает как на передачу, так и на прием, остальные только на прием. Из физических соображений очевидно, что в результате удара поверхность объекта выгибается в направлении движения объекта. Поэтому поверхность объекта выпуклая. Соответственно круг поиска поверхностей сужается.

Предполагается, что радиоинтерферометр имеет три канала, антенны каналов расположены на одной прямой. Апертуры антенн каналов прямоугольные. Поле на объекте принимается известным, с медленно меняющейся амплитудой вида пучка Гаусса—Эрмита нулевого порядка. Используется метод матрицы передач для записи исходной системы уравнений. Эта система является совокупностью трех интегральных уравнений.

Ранее был проведен анализ системы интегральных уравнений, где неизвестной функцией является функция, описывающая форму движущегося объекта, а коэффициенты передач каналов известны [1]. Предполагается, что функция формы поверхности объекта задается в виде многочлена второй степени, неизвестными являются коэффициенты этого многочлена. Эти коэффициенты определяют форму поверхности объекта [2]. В данной работе предлагается метод решения системы уравнений, основанный на разложении части подынтегральной функции в ряд Тэйлора. Благодаря такому разложению становится возможным свести интегралы к функциям ошибок. В результате получается система уравнений относительно неизвестных коэффициентов формы.

Таким образом, предложенный метод позволяет с некоторой точностью решить поставленную задачу.

Литература

1. Мельниченко В.С., Штыков В.В. Матричное описание многоканального радиоинтерферометра // Радиотехника. 2013. № 10. С. 8—13.
2. Мельниченко В.С., Штыков В.В. Влияние поверхности объекта на сигналы многоканального радиоинтерферометра // Радиотехника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов XX междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2014.

Е.В. Новикова, асп.; рук. В.В. Штыков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПАДЕНИЕ ПУЧКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА МНОГОСЛОЙНУЮ СРЕДУ

Рассматривается падение пучка [1] электромагнитных волн (ЭМВ) радиочастотного диапазона на многослойную среду (представляемую в виде изотропной, немагнитной физической модели). Свойства каждого слоя задаются следующими параметрами: толщиной L , удельной проводимостью σ , удельными относительными магнитной и диэлектрической проницаемостями — μ и ε соответственно, при этом ε описывается моделью Дебая [2].

Рассматривается прямая задача нахождения коэффициента отражения ЭМВ и пучка ЭМВ от однослойной и многослойной структур, построены графики коэффициента отражения; найдены формулы, описывающие электромагнитные поля в этих моделях.

Проведен анализ методов реконструкции профиля слоистой среды, что позволит решить обратную задачу восстановления параметров многослойной среды при воздействии гауссовым пучком ЭМВ [3].

Полученные результаты теоретического исследования позволят в дальнейшем провести вычислительный эксперимент, в котором будут определяться характеристики профиля слоистой среды при воздействии пучка ЭМВ с использованием математического метода обратной задачи.

Проведена оценка возможности использования решения представленной задачи в медико-биологических исследованиях, что составляет актуальность этой работы, которая в дальнейшем будет уточняться. Кроме того, результаты работы могут быть использованы в радиотехнике, электродинамике и биологии для моделирования, оптимизации воздействия и диагностики сред. Данная работа является продолжением и развитием [4].

Литература

1. **Баскаков С.И.** Радиотехнические цепи с распределенными параметрами: учебное пособие. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012.
2. **Гусев Ю.А.** Основы диэлектрической спектроскопии. Физический факультет Казанского государственного университета, 2008.
3. **Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П.** Теория волн. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979.
4. **Новикова Е.В., Штыков В.В.** Падение пучка электромагнитных волн на границу раздела двух сред // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов XXII междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. М.: Издательский дом МЭИ, 2016.

П.А. Овсянников, студ.; рук. В.В. Крутских, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБРАБОТКА ВИДЕОИНФОРМАЦИИ НА БАЗЕ ROS

Системы управления подвижными объектами на базе систем компьютерного зрения используются широко. В связи с этим появляются и решаются множество задач, в том числе задачи искусственного интеллекта, компьютерного зрения, энерго-эффективного управления [1].

Данная работа посвящена продолжению создания системы компьютерного зрения и обработки видеoinформации для базовой колесной платформы. Конструкция представлена на рис. 1. Она была разработана и реализована в ходе выпускной аттестационной работы бакалавриата.

Механическая часть конструкции была создана для опытных испытаний программно-аппаратных комплексов систем управления [2]. В нее входят два сервопривода с коллекторными двигателями и система энкодеров для контроля движения.

Система управления состояла из главного вычислителя, работающего под управлением ОС Raspbian, программного обеспечения для управления контроллерами и программы, работающей с использованием библиотеки OpenCV [3], распознавания образов с web-камеры. В новой версии вычислитель заменен на более производительный на базе ПК, а также использовано программное обеспечение ROS [4]. ROS обеспечивает стандартные службы операционной системы, такие как: аппаратная абстракция, низкоуровневый контроль устройств, реализация часто используемых функций, передача сообщений между процессами и управление пакетами. ROS основан на архитектуре графов, где обработка данных происходит в узлах, которые могут получать и передавать сообщения между собой.

Преимущество представленной разработки заключается в более широких возможностях программного обеспечения, а также улучшении прочности и функционала механической части.



Рис. 1. Вид базовой колесной платформы

Литература

1. **Статьи** по робототехнике. URL: <http://robocraft.ru/>
2. **Roboclaw** Motor Controller. URL: <http://www.orionrobotics.com/>
3. **OpenCV** шаг за шагом. URL: <http://robocraft.ru/page/opencv>
4. **Операционная** система для роботов ROS. URL: <http://www.ros.org/>

РАЗРАБОТКА ЗОНДИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА

Одним из ключевых элементов в построении системы для изучения электромагнитных полей является зондирующее устройство. В качестве зонда в установке можно использовать либо зонд на основе коаксиальной линии, либо зонд на основе гибкой линии из диэлектрического волновода [1]. Принятое решение об использовании диэлектрической структуры в качестве зонда обусловлено следующими достоинствами: направленность, интегрирующее свойство, слабое обратное рассеяние. Следует заметить, что если сохранять условие изменения геометрии линии много больше (в 30 раз) длины волны и плавно, то обратное рассеяние будет минимальным.

В зависимости от метода измерения нужно использовать зондирующее устройство разной формы и конфигурации [2]. Также следует заметить, что известно несколько методов изучения поля, а именно: полупрозрачное зеркало и с помощью направленных зондов. Схемы измерений представлены на рис. 1 и 2.

В настоящий момент ведутся работы по разработке оптимального зондирующего устройства на основе диэлектрического волновода. Результаты теоретических и экспериментальных исследований показали, что изменение геометрии открытого конца волновода сильно изменяет направленность зонда. Замечено, что оптимальным углом является угол в пределах 15 – 20 градусов. Данный результат получен при моделировании в прикладном пакете CST.

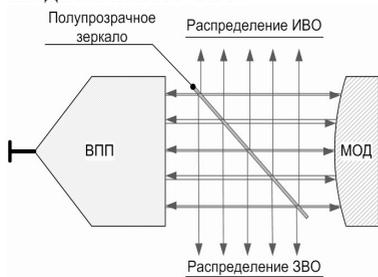


Рис. 1. Схема изучения полей с помощью полупрозрачного зеркала

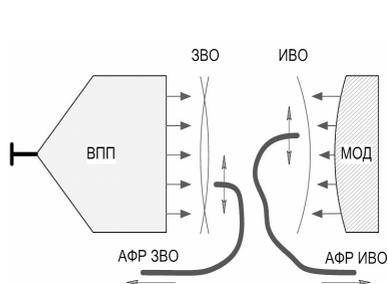


Рис. 2. Схема изучения полей с помощью направленных зондов

Литература

1. **Взятыхшев В.Ф.** Диэлектрические волноводы. М.: Советское радио, 1970.
2. **Владимиров С.В.** Диэлектрические волноводно-пучковые преобразователи на многосвязных волноводах: явления и принципы построения: Автореф. дисс. канд. техн. наук. М., МЭИ, 2009.

Л.В. Савкин, соиск.; рук. А.С. Дмитриев, д.ф.-м.н., проф.;
(ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва)

СПОСОБЫ ДВУМЕРНОГО РАДИОПОРТРЕТИРОВАНИЯ ФОНО-ЦЕЛЕВОЙ ОБСТАНОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ КАРТ КОХОНЕНА

Развитие методов нелинейной обработки сигналов нередко приводит разработчиков радиоэлектронной аппаратуры к необходимости применения аппаратно-программных платформ, реализующих самые разнообразные модели искусственных нейронных сетей (ИНС). Несмотря на широкий набор существующих сегодня частных моделей ИНС, появилось огромное число их модификаций, которые принято относить уже к нейроподобным структурам ввиду топологических особенностей последних. Одними из таких структур являются *самоорганизующиеся карты Кохонена* [1], позволяющие решать большой класс статистических задач по распознаванию образов (векторов входных данных), классификации распознанных объектов и кластерного анализа. Ключевым достоинством самоорганизующихся карт Кохонена является их *универсальность* по отношению к самым различным радиотехническим приложениям (радиолокация, телевидение, радиосвязь и др.), в основе которой лежит способность осуществлять непрерывное отображение D входного n -мерного пространства в выходное m -мерное пространство, т.е. $D : R^m \rightarrow R^n$.

В докладе представлены результаты разработки способов получения двумерных радиопортретов фоно-целевой обстановки с использованием 8-цветных самоорганизующихся карт Кохонена. В качестве программных средств разработки для реализации одной и той же карты Кохонена были использованы два типа программного обеспечения: Kohonen Map 1.0 и SOM Toolbox MatLab. Разработанная модель карты Кохонена позволяет осуществлять автоматическое выделение границ между распознанными объектами радиопортрета по принципу порогового контраста с возможностью регулировки меры близости между узлами карты.

Представленная модель самоорганизующейся карты Кохонена может использоваться как в методах обработки радиолокационной информации, так и в системах технического зрения, функционирующих в оптическом и радиодиапазоне длин электромагнитных волн.

Литература

1. **Кохонен Т.** Самоорганизующиеся карты: пер. 3-го англ. изд. – 2-е изд. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. 655 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТЕННЫ С ОСЕСИММЕТРИЧНЫМ ГИПЕРБОЛИЧЕСКИМ ПРОФИЛЕМ

В задачах радиомониторинга и радиопеленгации развитие антенн и антенных систем идет по пути увеличения полосы рабочих частот с одновременным стремлением уменьшения их габаритов. Одним из сверхширокополосных излучателей является биконическая антенна. Полоса частот такой антенны может достигать нескольких октав [1]. Исследованию этого типа антенн посвящено большое количество работ (см., например, [1, 2]).

С уменьшением нижней границы рабочих частот размер антенны существенно возрастает, таким образом, актуальной становится задача уменьшения габаритов биконической антенны при сохранении полосы рабочих частот. В работе [3] исследована возможность уменьшения размеров антенны за счет выполнения ее образующих в виде ломаной линии, однако уровень боковых лепестков диаграммы направленности такой антенны оказывается довольно высоким и может достигать уровня 4 дБ.

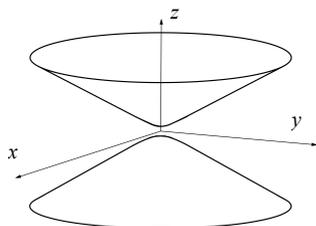


Рис. 1. Эскиз антенны с осесимметричным гиперболическим профилем

В представленной работе антенну предлагается выполнить в виде двуполостного гиперboloида. Эскиз такой антенны показан на рис. 1. Можно ожидать, что применение такого профиля позволит снизить уровень боковых лепестков антенны при ее малых габаритах. В работе проводится исследование характеристик такой антенны.

Исследование проводится путем моделирования поля матричными методами в стандартных пакетах. Результаты моделирования будут представлены в докладе.

Литература

1. **Фрадин А.З.** Антенны сверхвысоких частот. М.: Советское радио, 1957.
2. **Макурин М.Н., Чубинский Н.П.** Расчет характеристик биконической антенны методом частичных областей // Радиотехника и электроника. 2007. Т. 52. №10. С. 1199—1208.
3. **Калошин В. А., Скородумова Е. А.** Исследование симметричной поликонической антенны // Труды IV Всерос. научно-техн. конференции «Радиолокация и радиосвязь». М., 2010. С. 367—371.

Э.И. Трунов, студ.; рук. В.Г. Карташев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТУХАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДЕ ПОСРЕДСТВОМ АНАЛИЗА ДИСПЕРСИИ СТРУКТУРНОГО ШУМА

Рассматривается метод измерения коэффициента затухания ультразвуковых (УЗ) волн в материале с неоднородной структурой при одностороннем доступе, когда толщина объекта очень велика. Наиболее простой метод измерения коэффициента затухания УЗ волн основан на измерении амплитуды прошедшего сигнала [1]. При одностороннем доступе к изделию возможно измерение донного сигнала, но при больших размерах объекта донный сигнал невозможно обнаружить. В таких случаях единственным источником информации о коэффициенте затухания ультразвуковых волн является структурный шум. Структурный шум формируется в результате отражения зондирующего сигнала от неоднородностей материала: чем дальше неоднородность, тем меньше интенсивность структурного шума. Анализируя характер изменения дисперсии структурного шума, можно определить коэффициент затухания УЗ волны в зондируемом объекте.

Предлагается методика обработки структурного шума по одной или по нескольким реализациям [2]. Сначала с помощью интегрирования в так называемом «скользящем окне» находим функцию, описывающую закон изменения дисперсии во времени. Затем проводится логарифмирование этой функции и с помощью метода линейной регрессии определяется коэффициент затухания ультразвуковых волн в исследуемом материале.

Проведен анализ погрешностей измерения коэффициента затухания в зависимости от вида зондирующего сигнала, величины интервала интегрирования и уровня белого шума. Составлены рекомендации по выбору рабочего участка анализируемой реализации структурного шума с учетом наводок в начале реализации и белого шума в конце реализации структурного шума.

Предлагаемый метод может быть использован для мониторинга состояния ответственных объектов (опоры мостов, плотины ГЭС и др.).

Литература

1. **Качанов В.К., Карташев В.Г., Соколов И.В.** Ультразвуковая помехоустойчивая дефектоскопия. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. **Карташев В.Г.** Измерение коэффициента ослабления ультразвука в материале с неоднородной структурой при одностороннем доступе // Вестник МЭИ. 2013. № 4. С. 110—114.

КОНТРОЛЬ СЛЕПОЙ ЗОНЫ БЕТОННОГО СООРУЖЕНИЯ

Бетон, как и любой другой материал, подвержен разрушению, старению, поэтому необходим неразрушающий контроль строительного объекта. Проявляется старение как образование внутренних трещин. Одним из методов их обнаружения является ультразвуковой контроль в диапазоне частот 50—200 кГц. Задача усложняется, если поверхность контроля имеет некоторый радиус кривизны или резкий перегиб. Зоны за такими поверхностями не подвергаются достоверному контролю.

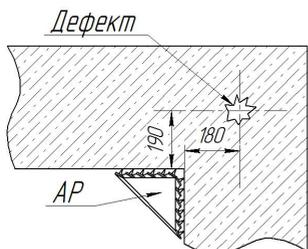


Рис. 1. Схема контроля

Решением данной проблемы может быть только использование некоторой совокупности датчиков для синтезирования направленного акустического поля во избежание влияния структурной помехи [1]. А именно использование антенной решетки (АР) сложной конфигурации. Пример такой конфигурации приведен на рис. 1. Для контроля используются ультразвуковые датчики поперечного типа волны с сухим точечным контактом [2]. Они обладают круговой диаграммой направленности. Точечный контакт позволяет провести контроль с поверхности любой неровности. Рабочая частота таких датчиков 50 кГц, полоса 70 %. Из-за точечного акустического контакта передаваемая энергия мала, поэтому используются несколько параллельно включенных датчиков.

Основная проблема, которая возникает при использовании АР представленной топологии, следующая: чем больше датчиков в АР, тем уже получается синтезируемая диаграмма направленности. Однако ультразвуковая волна от удаленно расположенных датчиков из-за затухания может и не внести полезного вклада в обнаружение дефекта в слепой области.

В работе решается задача нахождения оптимальной конфигурации антенной решетки для слепой зоны бетонной конструкции (рис. 1) с помощью математического моделирования и экспериментального сравнения на тестовом бетонном образце.

Литература

1. **Ультразвуковая** адаптивная многофункциональная дефектоскопия / В.К. Качанов, В.Г. Карташев, И.В. Соколов и др. М.: Издательский дом МЭИ, 2015.
2. **Козлов В.Н., Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г.** Ультразвуковой низкочастотный преобразователь. Патент РФ 2082163, 1997.

В.А. Щербаков, А.Л. Прозоров, студенты;
рук. С.В. Владимиров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В САПР CST MWS И РЕЗУЛЬТАТОВ НАТУРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

В данной работе произведен сравнительный анализ структуры КВЧ полей ближней зоны, полученных в ходе математического моделирования в САПР CST Microwave Studio, а также в ходе натурального эксперимента с использованием аппаратно-программного комплекса для изучения электромагнитных (ЭМ) полей в пространстве [1]. В качестве объектов исследования (моделирования) использовались различные диэлектрические структуры: отрезок широкоформатного прямоугольного волновода (ШПДВ) с углом заострения 0, 15, 45 и 75 градусов; конический излучатель; планарный клиновидный излучатель [2]. Все структуры были выполнены из фторопласта с электродинамическими параметрами $\varepsilon = 2,05$ и $\text{tg } \delta = 0,0003$ ($f = 1$ МГц).

Подробные результаты исследований приведены в докладе. Пример распределений ЭМ полей представлен на рис. 1. Как можно заметить, экспериментально снятое поле качественно повторяет рассчитанное численно. Полученные результаты доказывают, что аппаратно-программный комплекс для изучения ЭМ полей работает корректно и может быть использован для экспериментальной проверки готовых КВЧ конструкций, а также изучения особенностей распространения и отражения КВЧ волн в различных средах.

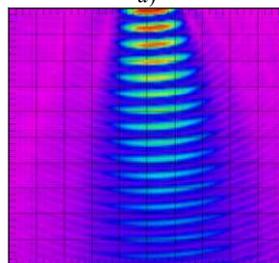
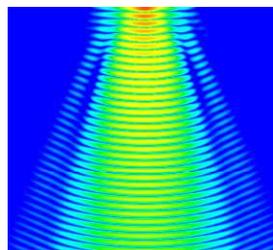


Рис. 1. Картины ЭМ полей ближней зоны отрезка ШПДВ: а — САПР CST MWS; б — эксперимент

Литература

1. Щербаков В.А., Прозоров А.Л., Владимиров С.В. Изучение дифракционных явлений с использованием системы исследования электромагнитных полей // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов в 3 т. XXII междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. Т.1. М.: Издательский дом МЭИ, 2016. С. 15.
2. Владимиров С.В. Диэлектрические волноводно-пучковые преобразователи на многосвязных волноводах: явления и принципы построения: Автореф. дисс. канд. техн. наук. М., МЭИ, 2009.

Секция 2

ФОРМИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ И СИГНАЛОВ

Председатель секции — д.т.н., профессор Н.Н. Удалов

Секретарь секции — аспирант А.А. Митрофанов

Н.С. Балясов, студ., А.А. Митрофанов, асп.; рук-ли:
А.Р. Сафин, к.т.н., доц., Н.Н. Удалов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ГЕНЕРАТОР НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ С ПЕРЕСТРОЙКОЙ ПО ЧАСТОТЕ

Одним из перспективных направлений радиотехники является применение ПАВ структур для создания эффективных генераторов, используемых в радиолокационной, связной, измерительной аппаратуре. Достоинствами генераторов на ПАВ являются малые габариты, малая масса и то, что частота их колебаний без умножения лежит в диапазоне от десятков МГц до нескольких ГГц [1].

В данной работе рассматривается схема генератора [2], управляемого по частоте напряжением, с перестройкой по частоте порядка 1% номинальной частоты 166 МГц. Генератор выполнен по схеме емкостной трехточки с заземленным по высокой частоте коллектором и с двухвходным ПАВ-резонатором в цепи базы транзистора. Перестройка осуществляется изменением реактивного сопротивления варикапа, как показано на рис. 1.

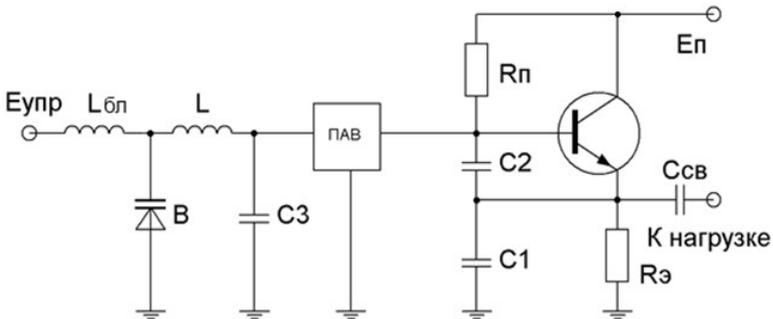


Рис. 1. Схема генератора

Спроектированный генератор благодаря малым потерям и линейной фазовой характеристике ПАВ-структуры в диапазоне перестройки частоты обеспечивает низкий уровень фазовых шумов при возможности изменения частоты выходных колебаний. В работе получены экспериментальные модуляционные и шумовые характеристики генератора.

Литература

1. **Дворников А.А., Огурцов В.И., Уткин Г.М.** Стабильные генераторы с фильтрами на поверхностных акустических волнах. М.: Радио и связь, 1983. 136 с.
2. **Ляшук А. Н. , Завьялов С. А.** Генератор на поверхностных акустических волнах с широкой перестройкой по частоте // Омский научный вестник. 2011. № 3 (103). С. 300—303.

А.А. Бобурков, студ.; рук. Л.А. Белов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИСТОЧНИК ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ БОРТОВОЙ СПУТНИКОВОЙ АППАРАТУРЫ

Надежное и безотказное функционирование спутниковой аппаратуры во многом зависит от качественных показателей системы вторичного бортового электропитания. Разработка таких систем для условий космической окружающей среды является актуальной задачей [1].

Цель работы состоит в изучении особенностей функционирования источника вторичного электропитания (ИВЭП) с системой стабилизации за счет широтно-импульсной модуляции (ШИМ) в условиях действия специфических для такого применения помех и воздействий.

В развитие работы [2] представлена схема модели в среде MicroCAP-10 с преобразованием постоянного напряжения бортовой сети 100 В в несколько выходных цепей низкого напряжения с суммарной мощностью до 30 Вт.

В докладе приведены результаты расчета элементов тактового генератора для системы ШИМ и цепей линейных стабилизаторов по каждой из нескольких вторичных выходных цепей.

Проведены испытания модели для контроля качества, колебательности и длительности процесса установления после включения или сбоя при различных сочетаниях параметров схемы и нагрузки исходя из интервалов допустимых значений стабилизированного выходного напряжения по различным выходным цепям. Выявлены причины возникновения колебательности процесса установления, в ходе которого могут происходить недопустимые изменения выходных параметров и сформулированы условия для предотвращения этого.

Импульсный характер функционирования ИВЭП может приводить к появлению паразитных пульсаций выходного напряжения, способного неблагоприятно влиять на функционирование бортовой электронной аппаратуры. В докладе приведены результаты измерений уровня пульсаций и паразитных спектральных составляющих выходного напряжения в зависимости от нагрузки по выходным цепям.

Проанализированы переходные, нагрузочные и перекрестные характеристики при вариациях нагрузки по разным выходным цепям.

Литература

1. **Мэк Р.** Импульсные источники питания: теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению: пер. с англ. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. 272 с.

2. **Владыкин А.М.** Источник вторичного электропитания для бортового спутникового усилителя мощности. Выпускная бакалаврская работа, НИУ «МЭИ», кафедра ФОРС, 2016.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ СХЕМЫ УСИЛИТЕЛЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОПТИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ

Одним из наиболее важных направлений развития глобальных навигационных систем (таких, как ГЛОНАСС или GPS) является повышение точности определения координат потребителями. Для точного решения навигационной задачи важно обеспечение синхронности шкал времени на всех КА, входящих в состав группировки. Для решения перспективных задач прецизионного сличения шкал времени требуется переход от наносекундных точностей измерений к субнаносекундным (на уровне десятков—сотен пикосекунд). На данный момент наиболее перспективным способом обеспечения субнаносекундных точностей сличения шкал времени пространственно разнесенных объектов является использование систем оптической лазерной локации. Такие системы работают с короткими импульсами лазерного излучения (длительность импульса порядка 50—500 пс). Одним из наиболее важных функциональных узлов системы является приемник оптического излучения, состоящий из фотодетектора и прецизионного усилителя.

В [1] рассматривались этапы разработки импульсного усилителя для прецизионной фиксации интервалов времени. В данном докладе использованы модели биполярных транзисторов, построенных на основе сведений из [2 и 3], которые позволяют усилителю удовлетворять требованиям лучше, чем транзистор 2Т3101А-2, представленный в [1]. Представлены результаты моделирования с учетом шумового тока на выходе фотодетектора и шумового тока усилителя и приведен расчет последнего согласно методике, изложенной в [4]. Представлена электрическая схема усилителя с учетом изменений, изложенных выше, и модель печатной платы, выполненная в пакете Mentor Graphics.

Литература

1. **Борисов Е.А., Жабин А.С.** Разработка импульсного усилителя для прецизионной фиксации интервалов времени // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов XXII междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов в 4 т. Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2016.

2. **Петухов В.М.** Транзисторы и их зарубежные аналоги: Справочник. Т. 1. М.: РадиоСофт, 2000.

3. **Петухов В.М.** Биполярные транзисторы средней и большой мощности сверхвысокочастотные и их зарубежные аналоги: Справочник. Т.4. М.: КУБК-а, 1997.

4. **Кулешов В.Н., Жалуд В.** Шумы в полупроводниковых устройствах. М.: Советское радио, 1977.

Е.Н. Вильдерман, студ.; рук. Л.А. Белов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СИНТЕЗАТОР СТАБИЛЬНЫХ ЧАСТОТ ДЛЯ БОРТОВОЙ СПУТНИКОВОЙ АППАРАТУРЫ

Функционирование спутниковых систем передачи информации основано на использовании опорных сигналов с высокой точностью установки частоты, низким уровнем фазового шума и чистым спектром. Синтезаторы таких сигналов для бортовой аппаратуры характеризуются заданным запасом устойчивости, допустимыми длительностью и качеством процесса установления, малой массой [1].

В докладе представлены результаты исследования синтезатора частот с целочисленными делителями частоты на базе системы фазовой автоподстройки частоты с частотно-фазовым детектором. Модель системы создана в среде MatLab и отличается от известных из литературы использованием точной схемы подкачки заряда, учитывающей одновременно процессы на периоде частоты сравнения и процессы установления синхронизма после изменения коэффициента деления частоты в кольце. Из рассмотрения зависимости управляющего напряжения подстраиваемого генератора от времени на рис. 1 следует, что процесс установления имеет длительность, в несколько десятков раз превышающую постоянную времени узкополосного фильтра в цепи обратной связи.

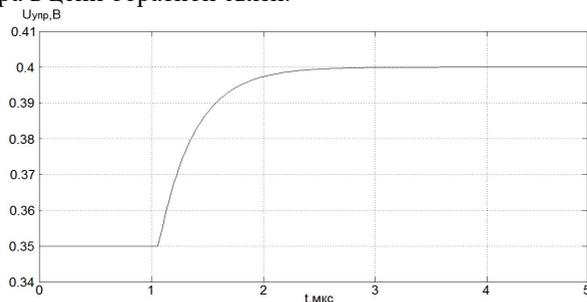


Рис. 1. Изменение управляющего напряжения после коммутации значения коэффициента деления частоты

Показано, что отлаженная модель синтезатора с учетом источников шумов в цепи обратной связи позволяет уточнить шумовые параметры экспериментального макета синтезатора стабильных частот.

Литература

1. **Белов Л.А.** Синтезаторы стабильных частот // *Электроника: Наука, Технология, Бизнес.* 2004. № 3. С. 38—44.

НЕЙРОМОРФНЫЕ СЕТИ НА ОСНОВЕ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ СПИНОВЫХ НАНООСЦИЛЛЯТОРОВ

Нейроморфные системы являются чрезвычайно актуальной областью прикладных и теоретических исследований [1]. Базовые ячейки современных нейроморфных процессоров – нейроны и аксоны построены на основе транзисторов. В последние годы [2] предлагаются альтернативные структуры нейронов и аксонов на основе спинтроники, а точнее, эффекта переноса спина в магнитных мультислойных наноструктурах. Ранее было показано [2], что магнитный наностолбик при некоторых параметрах может демонстрировать мемристивный эффект и может являться прототипом нейрона. Объединение в нейронную сеть при этом может осуществляться за счет разных механизмов связи. Базовым механизмом связи на данный момент является спин-волновой, при котором взаимодействие между нейронами осуществляется за счет спиновых волн, распространяющихся в общем ферромагнитном слое [3]. Поэтому чрезвычайно важной и актуальной с теоретической точки зрения является задача исследования ансамблей спиновых наноосцилляторов с различной топологией.

В данной работе исследовались иерархические ансамбли наноосцилляторов на предмет динамики возможных состояний в фазовом пространстве и их бифуркаций. Проводился переход от исходных координат к нормальным координатам и записывались нелинейные уравнения с учетом диссипации, которые и анализируются в фазовом пространстве.

Проведенные исследования дают возможность определить как параметры индивидуальных наноосцилляторов, так и структуры иерархической сети, при которых достигается режим полной частотной и фазовой синхронизации нейронов на одной колебательной моде.

Литература

1. Dressler F., Akan O. A Survey on Bio-Inspired Networking // *Comp. Net.* 2010. Vol. 54. P. 881—900.
2. Locatelli N., Cros V., Grollier J. Spin-torque building blocks // *Nat. Mat.* 2014. 13. P. 11—20.
3. Safin A.R., Udalov N.N., Kapranov M.V. // *Eur. Phys. J. Appl. Phys.* 2014. Vol. 67. P. 206011—206016.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФРАКТАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СКЕЙЛИНГОВОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Одной из важнейших задач построения стеганостойких систем передачи данных является установление как можно более идентичных параметров приемника и передатчика.

В [1] предложена стеганостойкая система передачи данных, принцип действия которой основан на скрытии факта передачи сообщения. Скрытие радиосвязи заключается в передаче полезного сигнала на фрактальной несущей на низких значениях отношения сигнал/шум ($\sim -5 \div -10$ дБ). Свойство самоподобия (временного скейлинга) фрактального сигнала позволяет реализовать сверхчувствительный приемник, способный различать полезный сигнал с требуемой достоверностью.

Однако до сих пор в такой системе не было исследовано влияние параметров сигналов с аддитивной фрактальной [2] структурой (величины фрактальной размерности, безразмерной опорной частоты, количества частотных составляющих сигнала, число каналов обработки) на качество работы приемника, а именно на помехоустойчивость приема. Соответственно не было предложено рекомендаций по выбору множеств нехудших параметров, обеспечивающих заданное значение вероятности битовой ошибки.

В этой связи решение задачи разбито на два этапа. Во-первых, рассмотрены предельные характеристики помехоустойчивости приема при полностью идентичных параметрах передатчика и приемника в случае идеальной синхронизации. Во-вторых, рассмотрен случай разброса безразмерной опорной частоты несущего сигнала в приемной и передающей частях системы. По измерениям характеристик помехоустойчивости линии связи для каждого отклонения параметра была получена исчерпывающая статистика об изменениях в качестве приема.

В докладе представлены результаты работы в указанных направлениях.

Литература

1. Белов Л.А., Хандурин А.В., Чеченя С.А. Система беспроводной связи с малой радиозаметностью и высокой стеганостойкостью // Вестник МЭИ. 2015. № 2. С. 87—91.
2. Wornell G.W. Fractal Signals. DSP Handbook: Wireless, networking, radar, sensor array processing, and nonlinear signal processing. CRC Press, 2009.

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ НА ЯЗЫКЕ VHDL

Система фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) широко используется в радиотехнике, компьютерах и других электронных устройствах. Она может генерировать сигнал постоянной частоты, восстанавливать сигнал из зашумленного коммуникационного канала.

Одной из востребованных форм применения систем ФАПЧ являются программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), где это нужно для быстрой подстройки фазы и увеличения выходной частоты.

Главной целью работы было: а) изучить возможность создания системы в среде MatLab R2016a, так как в нем улучшен алгоритм синтеза VHDL кода, и б) понять, насколько целесообразно отойти от языка программирования низкого уровня VHDL к более высокоуровневым.

В докладе приводятся результаты разработки такой модели. Спроектированная цифровая ФАПЧ позволяет осуществлять автоматическую фазовую автоподстройку частоты с высокой точностью [1].

В работе смоделирована ФАПЧ в подпрограмме Simulink пакета MatLab.

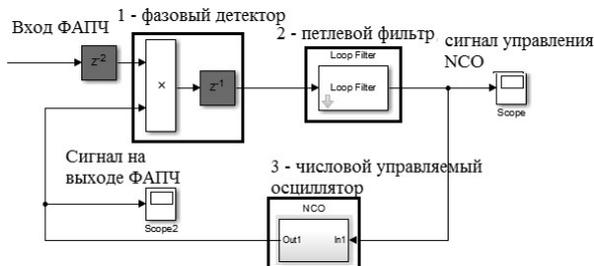


Рис. 1. Смоделированная система ФАПЧ

Система состоит из трех основных блоков: фазового детектора, петлевого фильтра, который формирует управляющий сигнал, и числового управляемого осциллятора NCO.

На основе получившейся модели был синтезирован VHDL код для семейства ПЛИС Spartan-6. В докладе представлены результаты тестирования полученной модели.

Литература

1. **Nezami M.K.** RF Architectures and Digital Signal Processing Aspects of Digital Wireless Transceivers. Ph. D., KI4CUA, 2003. P. 513.

А.Д. Иванов, студ.; рук. В.М. Богачёв, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

КОМПАКТНЫЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ МАТРИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Цель доклада двойка: во-первых, следуя методике, изложенной в [1] для биполярных транзисторов, получить компактные формулы для матричных параметров линейных моделей полевых транзисторов (ПТ); во-вторых, обосновать и применить способы оптимального упрощения моделей для областей относительно низких, средних и высоких частот. Исследование основано на элементах аналитической теории четырехполюсников, в которой матричные параметры рассматриваются как рациональные функции оператора p . Известно, что электрическая система параметров (и аналогично волновая) имеет шесть форм и в целом характеризуется 24 матричными параметрами. Согласно аналитической теории для описания всех 24 матричных элементов шести форм системы достаточно располагать шестью полиномами N_{11} , N_{12} , N_{21} , N_{22} , D и F [1]. Полиномы связаны между собой тождеством $N_{11} N_{22} - N_{12} N_{21} = DF$.

Матрицы любой формы параметров содержат пять полиномов, шестой определяется из тождества. Матричные полиномы ПТ рассчитываются методом декомпозиции: в модели выделяется исходный четырехполюсник (ИЧ) – входная RC -цепь и крутизна S управляемого источника тока. К ИЧ поочередно (по законам аналитической теории) подключаются «внешние» элементы – резисторы, межэлектродные емкости и другие конструктивные элементы. «Полная» модель содержит до 12 элементов, из них девять реактивных, т.е. характеристические полиномы матрицы могут иметь девятый порядок.

В инженерной практике при упрощении обычно отбрасываются старшие степени. В докладе предложены два оптимальных метода снижения порядка матричных параметров: аппроксимации Паде и интерполяция «укороченными» экспоненциальными полиномами. Это позволяет с контролируемой погрешностью использовать на низких частотах параметры первого порядка, на средних и высоких – не выше третьего. В качестве примера рассматривается модель ПТ с девятью элементами и приведены результаты редукции к матричным параметрам первого – третьего порядков.

Литература

1. Богачёв В.М. Компактные формулы для матричных параметров линейной и кусочно-линейной модели транзисторов // Тр. РНТОРЭС им. А.С. Попова, 2008. Вып. 63.

ИСТОЧНИК МИКРОВОЛНОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОПЕРЕХОДОВ ФЕРРОМАГНЕТИК—СВЕРХПРОВОДНИК

Динамика намагниченности в ферромагнитных наноструктурах, индуцируемая спин-поляризованным током, в настоящее время представляет большой интерес как с фундаментальной, так и с практической точек зрения [1, 2]. Чаще всего исследуются наноразмерные туннельные структуры, состоящие из двух ферромагнитных слоев и тонкой немагнитной прослойки. Намагниченность одного из слоев жестко фиксирована, а другого может меняться под действием внешнего магнитного поля или протекающего спин-поляризованного тока. При протекании через систему электрического тока за счет эффекта переноса спина в магнитомягком ферромагнитном слое наблюдается прецессия намагниченности в СВЧ-диапазоне. В силу миниатюрных размеров, малого энергопотребления и широкой перестройки по частоте такие осцилляторы, управляемые током, могут найти широкое применение в телекоммуникационных устройствах.

У данных наноосцилляторов есть один существенный недостаток, связанный с низкой выходной мощностью генерируемых колебаний. Были предприняты различные попытки для повышения мощности. Одним из таких способов является использование сверхпроводящих материалов в качестве промежуточных слоев, разделяющих ферромагнитные слои. В данной работе исследовались структуры типа ферромагнетик—сверхпроводник—ферромагнетик. Было рассчитано влияние сверхпроводящего слоя на величину спин-трансферного эффекта и магнетосопротивления. Проведенные вычисления показывают, что использование сверхпроводящих слоев повышает магнетосопротивление образца, что приводит к увеличению выходной мощности генерируемых колебаний, с одной стороны, и уменьшению ширины спектральной линии, с другой.

Сделанный анализ дает возможность определить диапазон изменения рабочих параметров, позволяющих добиться устойчивой генерации в широких пределах перестройки по току.

Литература

1. **Linder J., Yokoyama T., Subdo A.** Spin-transfer torque and magnetoresistance in superconducting spin valves // *Phys. Rev.* 2009. В 79. P. 224504.
2. **Linder J., Robinson J.** Superconducting spintronics // *Nat. Phys.* 2015. 11. P. 307—315.

ИССЛЕДОВАНИЕ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ МНОГООКТАВНЫХ СИГНАЛОВ

После возбуждения колебаний в распределенных высокодобротных сверхширокополосных системах возникают затухающие квазипериодические колебания несинусоидальной формы [1], которые в спектральной области представляются суммой множества гармоник, частота которых отличается от значения, кратного частоте основного тона.

В докладе рассматриваются свободные колебания в таких системах с учетом до 30 гармоник при наличии неизохронности, ангармонизма и различной скорости затухания обертонов.

Математическое описание для квазипериодического процесса затухающих колебаний с проявлением ангармонизма имеет вид

$$Y(t, x) = \frac{2\left(\frac{x_0}{L}\right)}{1 - \left(\frac{x_0}{L}\right)} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{(k\pi)^2} \sin\left(\pi k \frac{x_0}{L}\right) \sin\left(\pi k \frac{x}{L}\right) \times \cos\left(4\pi k \sqrt{1 + Bk^2}\right) \exp\left[-\frac{t}{2Q/k}\right], \quad (1)$$

где x_0 — расстояние, на которое струна отклонена от закрепленного конца; L — длина струны; B — параметр ангармоничности, обратно пропорциональный квадрату добротности Q . Параметр ангармонизма выявляется количественно с помощью кепстрального преобразования. На рис. 1 представлен вид переходного процесса $Y(t)$ затухающих колебаний по (1) с $B = 0,001$; $x/L = 0,1$; $x_0 = 0,025$; $Q = 20$.

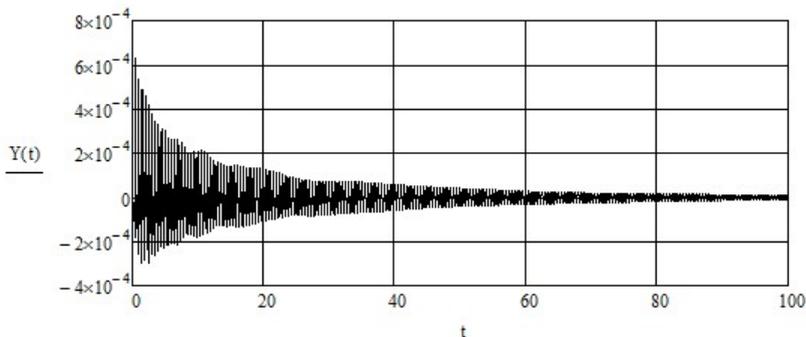


Рис. 1. Форма затухающих квазипериодических колебаний

Показано, что сигналы с ангармоничностью возникают также в других упругих системах с малыми потерями, например в диэлектрических резонаторах СВЧ диапазона на основе пьезокерамики.

Литература

1. Семенов Н.С., Белов Л.А., Первеева Н.С. Анализ квазипериодических сверхширокополосных акустических сигналов // Радиотехнические тетради. 2015. № 54. С. 64—68.

С.В. Петушков, асп.; рук. Л.А. Белов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРЕДСКАЖАЮЩИЙ АНАЛОГОВЫЙ ЛИНЕАРИЗАТОР ДЛЯ БОРТОВОЙ СПУТНИКОВОЙ АППАРАТУРЫ

При разработке радиопередающих устройств бортовой спутниковой аппаратуры возникают жесткие требования по интермодуляционным искажениям и внеполосным излучениям [1], повышается актуальность задачи создания широкополосных усилителей мощности СВЧ-сигналов с высокими энергетической и спектральной эффективностью [2]. В докладе рассмотрены характеристики новой схемы аналогового предсказывающего линеаризатора для ее решения.

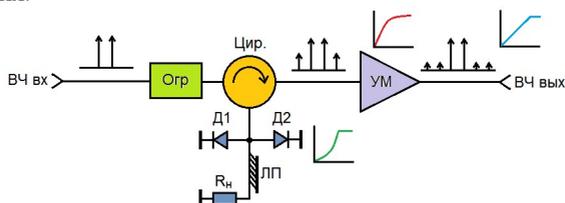


Рис. 1. Схема аналогового предсказывающего линеаризатора: Огр — ограничитель амплитуды входного сигнала; Цир — циркулятор; D1, D2 — диоды; ЛП — линия полосковая; R_н — нагрузочный резистор

Принцип работы линеаризатора (рис. 1) заключается в следующем. Пока на входе действует слабый сигнал, диоды D1 и D2 закрыты, поэтому СВЧ сигнал проходит без дополнительного набега фазы и заметных искажений. При увеличении уровня входной мощности диоды открываются и вносят квадратичные амплитудные предсказания, компенсирующие АМ/АМ компрессию в усилителе мощности УМ. Благодаря влиянию отрезка полосковой линии ЛП с нагрузкой R_{наг} при этом возрастает набег фазы, который пропорционален АМ/ФМ в усилителе мощности. Таким образом, за счет аналогового предсказания СВЧ сигнала повышается энергетическая эффективность при работе вблизи насыщения и снижается уровень внеполосных интермодуляционных излучений, нарушающих требования электромагнитной совместимости.

Аналитические выкладки и моделирование с помощью пакета ADS позволили сформулировать рекомендации по выбору параметров схемы, при которых уровень искажений на выходе снижается до 7 дБ.

Литература

1. **Спутниковая** связь и вещание. — 3-е изд. / под ред. Л.Я. Кантора. М.: Радио и связь, 1997. 528 с.
2. **Повышение** эффективности усилителей многочастотных сигналов / Е.В. Воронежский, С.М. Ксенофонтов, В.М. Рожков и др. // Радиотехника. 1996. № 4. С. 73—79.

Л.В. Савкин, соиск.; рук. А.С. Дмитриев, д.ф.-м.н., профессор,
(ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва)

ПРЕЦИЗИОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ «ЛАБИРИНТНОГО» ХАОСА НА БАЗЕ ПЛИС FPGA

Работа посвящена проблемным вопросам построения *прецизионных* [1, 2] генераторов хаотических колебаний в радио- и СВЧ диапазонах, служащих основой для передачи и приема информационных сообщений на основе широкого спектра существующих сегодня методов *хаотической модуляции* сигналов. Одним из возможных путей решения многочисленных проблем [1], связанных с реализацией прецизионных генераторов хаоса, является построение последних на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) преимущественно FPGA класса [2].

Предметом исследования настоящей работы являются аппаратные способы реализации прецизионных генераторов «лабиринтного» хаоса [3], динамика которых описывается системами уравнений стандартного осциллятора Томаса, включая многочисленные варианты его модификаций.

В качестве основной аппаратной платформы выступает ПЛИС Xilinx Virtex-6 LX240T FPGA, на базе которой также была реализована (помимо архитектуры генератора) архитектура системы, позволяющей контролировать параметры генератора «лабиринтного» хаоса и выдавать ошибки в спектральном расхождении хаотического сигнала относительно требуемых на внешний модуль загрузки реконфигурации ПЛИС. Последнее, в частности, требовалось для управления спектральной плотностью хаотического сигнала в основной полосе генерации в области относительно невысоких частот $\Delta f = 2 \div 60$ МГц (модифицированный осциллятор Томаса). Разработанный генератор показал значительные преимущества (с точки зрения прецизионности) перед генератором, реализованным на базе микроконтроллера STM32F107 в работе [4].

Литература

1. **Генерация хаоса** / А.С. Дмитриев, Е.В. Ефремова, Н.А. Максимов, А.И. Панаас; под общ. ред. А.С. Дмитриева. М.: Техносфера, 2012. 424 с.
2. **Savkin L.V.** Analysis of the methods of implementation of the precision chaos generators. Dynamics, Bifurcation, and Chaos 2016 (DBC III) // International Conference-School of Lobachevsky University, July 18 – 22, 2016. Book of abstracts. Nizhny Novgorod, 2016. P. 36.
3. **Sprott J.C., Chlouverakis K.S.** Labyrinth Chaos. International Journal of Bifurcation and Chaos // Appl. Sci. Eng. 2007. Vol. 17. No. 6. P. 2097—2108.
4. **Gotthans T., Petrzela J.** Experimental Study of the Sampled Labyrinth Chaos // Radioengineering. 2011. Vol. 20. No. 4. P. 873—879.

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИГНАЛОВ С АНГАРМОНИЗМОМ ОБЕРТОНОВ

В распределенных колебательных системах с малыми потерями и дисперсией фазовой скорости распространяющихся волн (например, в случаях поперечных колебаний в струне, электроакустических волн в пьезоматериале) возникают [1] волны несинусоидальной формы, спектр которых содержит десятки высших гармоник. В них проявляется ангармонизм обертонов, состоящий в отклонении положения максимума спектральной плотности мощности от точной кратности частоте основного тона, которое увеличивается с возрастанием номера гармоники. При этом начальная форма свободных затухающих колебаний (рис. 1, *а*) существенно изменяется со временем и приближается к гармонической (рис. 1, *б*).

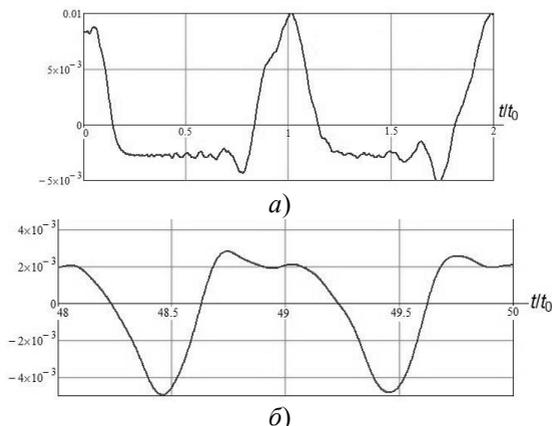


Рис. 1. Форма свободных колебаний точки $x = L/4$ струны длиной L после ее возбуждения в точке $x_0 = L/10$ в начале процесса (*а*) и по истечении 48 квазипериодов при значении параметра ангармонизма $B = 0,003$ (*б*)

В докладе показано, что для упругих сред с потерями коэффициенты пространственного затухания упругих волн линейно увеличиваются с возрастанием номера гармоники [2].

Анализ формы колебаний квазипериодического процесса (рис. 1), выполняемый при помощи кепстрального преобразования, позволил [2] количественно оценить значение параметра ангармонизма B .

В докладе изложена структурная схема синтезатора квазипериодических колебаний с заданным уровнем ангармонизма, основанного на адаптации численных методов для задачи вычисления значения искомой функ-

ции с конечной точностью. Приведены результаты сопоставления формы синтезированных сигналов и опубликованных записей звучания музыкальных струн, которые показали высокую степень их близости.

На основе результатов проведенных исследований разработана программная оболочка для использования в качестве лабораторной работы в учебном процессе НИУ «МЭИ».

Литература

1. **Белов Л.А., Семёнов Н.С., Первеева Н.С.** Анализ квазипериодических сверхширокополосных акустических сигналов // Радиотехнические тетради. 2015. № 51. С. 64—68.

2. **Белов Л.А., Семёнов Н.С.** Ангармонизм обертонов в сверхширокополосных квазипериодических сигналах // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2016. № 4 (в печати).

П.А. Стремоухов, студ.; рук. А.Р. Сафин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СИНХРОНИЗАЦИЯ ВИХРЕВЫХ СПИН-ТРАНСФЕРНЫХ НАНООСЦИЛЛЯТОРОВ ВНЕШНИМ ГАРМОНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Магнитные вихри в настоящее время представляют значительный интерес как с фундаментальной, так и с прикладной стороны [1, 2]. Особый интерес вызывают вихри, образующиеся в магнитных наноструктурах при протекании через них спин-поляризованного тока в результате эффекта переноса спина (spin-transfer torque). На основе подобной вихревой динамики намагниченности в магнитных наноструктурах могут быть реализованы принципиально новые миниатюрные генераторы микроволнового диапазона, широко перестраиваемые по частоте [так называемые «спин-трансферные наноосцилляторы» (СТНО)]. В отличие от однородных вихревые СТНО обладают существенными преимуществами: меньшей шириной спектральной линии (около 1 МГц на частотах до 1 ГГц), большей выходной мощностью (около 1 мкВт), отсутствием внешнего магнитного поля. Для практического использования таких генераторов необходимо уменьшить ширину спектральной линии СТНО. Одним из методов уменьшения ширины спектральной линии генерируемых вихревым СТНО колебаний является использование внешней синхронизации гармоническим высокочастотным током или магнитным полем.

В данной работе на первом этапе найдены стационарная амплитуда и разность фаз синхронизируемых колебаний при помощи метода медленно меняющихся амплитуд. Была обнаружена область устойчивости на плоскости управляющих параметров. Далее была получена карта динамических режимов системы, на которой можно наблюдать характер колебаний при различных значениях отстройки по частоте внешнего воздействия и различных амплитудах внешнего воздействия.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых российских ученых—кандидатов наук (грант № МК- 7026.2016.8).

Литература

1. **Gaididei Y., Kravchuk V., Sheka D.** Magnetic Vortex Dynamics Induced by an Electrical Current // International Journal Of Quantum Chemistry. 2009. Vol. 110. No 1. P. 83—97.

2. **Спиновый** транспорт и перспектива спинтронных наноосцилляторов / К.А. Звездин, М.Ю. Чиненков, А.В. Попков и др. // Инженерная Физика. 2012. № 10. С. 27—44.

Д.А. Фролов, асп.; рук. Д.П. Царапкин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУХКОНТУРНОГО ФИЛЬТРА АВТОГЕНЕРАТОРА С ДВУМЯ СИНХРОННЫМИ МОДАМИ

Традиционные методы стабилизации частоты автоколебаний используют два основных подхода: улучшение стабильности реактивных параметров схемы автогенератора, включая активный элемент, и повышение добротности колебательной системы. Однако возможен другой путь, основанный на явлении взаимной синхронизации колебаний в бигармоническом автогенераторе (БАГ) с кратными частотами [1, 2].

В предлагаемой работе детально изучается влияние параметров двухконтурного фильтра с реактивной связью, образующего колебательную систему БАГ [2], на параметры эквивалентного контура основной генерируемой частоты f_1 и контура на частоту выбранной n -й гармоники f_2 (в синхронном режиме $f_2 = nf_1$) [1].

В качестве примеров на рис. 1 представлена для синхронного режима БАГ при $n = 2$ зависимость нормированной эквивалентной добротности основного контура $q_1 = Q_1/Q_{01}$ от коэффициента связи k с гармониковым контуром при вариации соотношения собственных добротностей контуров $\chi = Q_{01}/Q_{02}$, а на рис. 2 (при тех же условиях) зависимости нормированных входных сопротивлений фильтра R_1, R_2 на частотах связи f_1, f_2 соответственно.

Полученные в работе данные позволяют поставить и решить задачу оптимизации параметров БАГ типа [2].

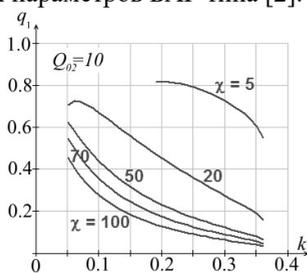


Рис. 1

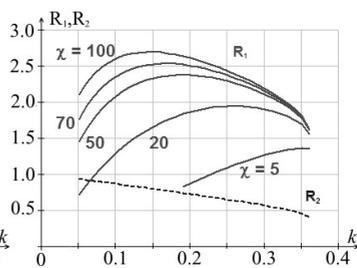


Рис. 2

Литература

1. Уткин Г.М. Автоколебательные системы и волновые усилители. М.: Советское радио, 1978. 272 с.
2. Царапкин Д. П., Чичварин М. И., Исаков И. А. Экспериментальное подтверждение компенсационных эффектов в автогенераторах с двумя кратными модами // Труды 54-го межд. симп. ИИЭР по проблемам частоты. США, Канзас Сити, 2000. С. 463—470 (на английском языке).

М. Хоролгарав, студ.; рук. В.Н. Кулешов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

КОЛЬЦЕВОЙ АВТОГЕНЕРАТОР КВАДРАТУРНЫХ КОЛЕБАНИЙ НА МОП-ТРАНЗИСТОРАХ

Автогенераторы квадратурных колебаний (АГКК) широко используются в квадратурных модуляторах для переноса спектров широкополосных сигналов в диапазон СВЧ и в квадратурных демодуляторах для обратного переноса спектров принимаемых сигналов [1].

От погрешностей формирования опорных колебаний в квадратурных модуляторах передатчиков зависит уровень побочных излучений на зеркальных по отношению к несущей частотах [2], а в супергетеродинных приемниках с низкими промежуточными частотами [1] от погрешностей формирования выходных квадратурных колебаний гетеродинов зависит степень подавления помех на частотах зеркального канала.

Одним из видов схем построения АГКК являются кольцевые схемы с резонансными усилителями на МОП-транзисторах и фазирующими цепями межкаскадной связи [1, 2]. Несмотря на большое число зарубежных публикаций по этой тематике, методик расчета параметров, а также теоретико-колебательного анализа стационарных режимов АГКК, их устойчивости и чувствительности к разбросу параметров используемых компонентов к настоящему времени не опубликовано.

Излагаются результаты исследования кольцевого АГКК, состоящего из двух дифференциальных усилителей с одноконтурными резонансными цепями межкаскадной связи, дополненными фазосдвигающими RC-цепями. Для него описана предложенная в данной работе методика расчета параметров цепей межкаскадной связи и режима стационарных колебаний по заданным техническим требованиям.

Для рассчитанного АГКК методами теории колебаний проведено исследование условий устойчивости стационарного режима и получены соотношения для расчета чувствительности основных характеристик выходных колебаний к разбросу параметров цепей межкаскадной связи.

Применение методики иллюстрируется численным примером расчета и исследования АГКК с частотой 1 ГГц.

Литература

1. **Analysis and Design of Quadrature Oscillators** / L.B. Oliveira et al. Springer Netherlands, Springer Science+Business Media B.V., 2008.

2. **Кулешов, В.Н., Кочемасов Д.В.** Требования к точности реализации и настройки кольцевых автогенераторов квадратурных колебаний // *Электросвязь*. 2013. № 5.

А.Д. Щербинин, студ.; рук. Белов Л.А. к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ФОРМИРОВАНИЕ НАВИГАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

Для повышения качества и точности глобальных радионавигационных систем в [1] рассмотрен новый вид радионавигационного сигнала меандровый шумоподобный сигнал с бинарной модуляцией на поднесущих частотах (МШС БМПЧ) (*Binary Offset Carrier modulated signal, BOC*).

Важными достоинствами МШС БМПЧ являются возможность их параллельного использования с устаревающими системами, потенциально более высокая помехоустойчивость и точность радионавигационных систем. Целью данной работы является исследование влияния частотной фильтрации на основные параметры данного сигнала.

В докладе представлена модель цифрового формирователя МШС БМПЧ [2]. Проведено моделирование процессов с использованием фильтрации для выполнения нормативов электромагнитной совместимости (рис. 1, где f_0 — частота несущего колебания, f_{Π} — половина полосы пропускания).

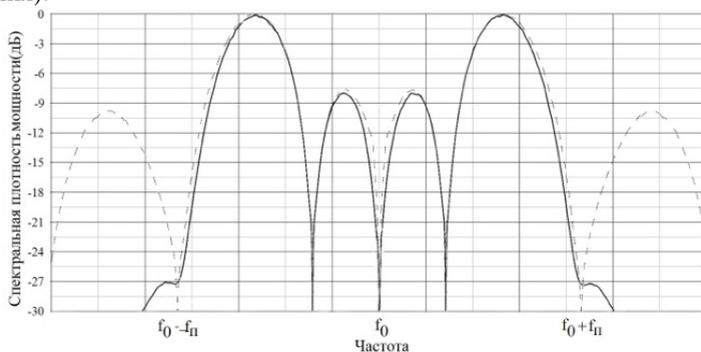


Рис. 1. Спектральная плотность мощности МШС БМПЧ сигнала: — — — без фильтра; — с фильтром; f_0 — частота несущего колебания; f_{Π} — половина полосы пропускания

Показано влияние используемой полосы пропускания фильтра на основной пик автокорреляционной функции МШС. Сформулированы рекомендации для достижения компромисса между требованиями электромагнитной совместимости и уровнями межсимвольных искажений.

Разработан макетный образец цифрового формирователя МШС БМПЧ на базе программируемой логической интегральной схемы ПЛИС.

Литература

1. **Shuanggen Jin** Global Navigation Satellite Systems: Signal, Theory and Applications: InTech, 2012. P. 53 – 76 (www.intechopen.com, дата обращения 12.10.2016)
2. **Бойков В.В.** Меандровые шумоподобные сигналы в глобальных спутниковых навигационных системах // Т-Comm. 2011. № 9. С. 37—38.

Секция 3
**УСТРОЙСТВА ОБРАБОТКИ
РАДИОСИГНАЛОВ**

*Председатель секции — зав. кафедрой ФОРС,
д.т.н., профессор Ю.А. Гребенко
Секретарь секции — ст. преподаватель В.А. Филатов*

*Д.Д. Аймаа, студ.; рук-ли Э.Л. Муро, к.т.н., доц.; А.В. Щукин, ст. преп.
(НИУ «МЭИ»); В.И. Бугаев, н.с. (МФТИ, г. Долгопрудный)*

**РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ТЕСТИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ
ДАТЧИКОВ ВЫСОКОНАДЕЖНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ**

Высоконадежные никель-кадмиевые аккумуляторные батареи (АБ) используются на борту воздушных судов и заряжаются с помощью бортового зарядного устройства. Для управления режимом заряда АБ необходимо контролировать рабочую температуру. Контроль температуры проводится температурным датчиком в виде встроенного в АБ термистора. Гарантированная работоспособность температурных датчиков АБ является безусловным техническим требованием. Несоблюдение требуемого температурного режима может привести к неполному заряду и сокращению срока работы АБ, а в худшем случае — к полному отказу, который может иметь катастрофические последствия.

В докладе представлены результаты разработки устройства тестирования температурных датчиков высоконадежных АБ. Устройство проводит проверку работоспособности датчиков на температурах от 0 до 71°C, регламентированных в эксплуатационной документации АБ. Установка температуры выполняется с помощью элемента Пельтье [1], который управляется микроконтроллером STM32F051 и температурным датчиком фирмы DALLAS DS18B20 [2]. Выбор элемента Пельтье обусловлен тем, что температуру нужно устанавливать выше и ниже нормальной. Проверка работоспособности температурных датчиков выполняется путем сравнения сопротивления термистора с типовым значением на установленной температуре. Сопротивление термистора измеряется с помощью 12-битного АЦП, встроенного в микроконтроллер.

В докладе приводится экспериментально полученная температурная характеристика эталонного термистора, необходимая для дальнейшей работы устройства.

Устройство выполнено в корпусе размером 320×115×100 мм. Управление устройством осуществляется с помощью компьютера посредством управляющей программы. После выполнения всех температурных тестов выполняется запись данных в отчет для хранения и дальнейшего анализа.

Литература

1. **Гнусин П.И.** Исследование эффективности элемента Пельтье при различных режимах работы // Видеонаука: сетевой журнал. 2016. №1(1).
2. [**Электронный ресурс**]. URL: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАДИОСИГНАЛА, ОТРАЖЕННОГО ОТ ЧЕЛОВЕКА

Радиолокационное зондирование человека миллиметровыми волнами с последующей обработкой отраженных сигналов является одним из перспективных современных методов неконтактной диагностики организма человека [1]. Установлено, что отраженный от человека радиосигнал является фазомодулированным, состоящим из квазиоднородного и хаотического компонентов. Для исследования такого сигнала необходимо создать его математическую модель.

В радиотехническом приложении теории нелинейных колебаний имеются примеры математического моделирования процесса формирования хаотических колебаний, где в разностном уравнении приращение текущего периода модельного сигнала задается с помощью уравнения отображения окружности:

$$x_{n+1} = x_n + r - (K / 2\pi)F(2\pi x_n), \text{mod}(1), \quad (1)$$

где $\text{mod}(1)$ означает, что $x \in [0, 1]$, K, r — некоторые константы. Подстановка в это уравнение значений констант, полученных в эксперименте, позволяет проводить анализ модельного отраженного сигнала. Известно [2], что при выполнении определенных условий сигналы с хаотической компонентой являются фрактальными. Разработанная программа расчета фрактальных параметров отраженных сигналов позволила провести анализ размерности Хаусдорфа—Безиковича при воздействии на объект теста Ромберга и прийти к выводу, что все ритмограммы, полученные из фазы отраженного сигнала, имеют сложный мультифрактальный характер. Такой вывод согласуется с уравнением (1), так как нелинейная функция $F(2\pi x_n)$ включает в себя априорные сведения о частотных кластерах спектра пульсового компонента отраженного сигнала и служит основой для разработки методов оценки функционального состояния объекта.

Литература

1. **Фёдоров В.А.** Радиотехнические методы в функциональной диагностике человека. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. **Тимашева Т.Г.** Эффективные методы обработки миллиметровых сигналов, отраженных от объекта со сложным характером движения: дисс... канд. техн. наук: 05.12.04. М., МЭИ, 2014. 127 с.

АНАЛИЗ ФРАКТАЛЬНЫХ СВОЙСТВ РАДИОСИГНАЛОВ, ОТРАЖЕННЫХ ОТ ЧЕЛОВЕКА

В последние годы получил развитие метод анализа отраженных радиосигналов, полученных в результате радиолокационного зондирования живых объектов, с позиций нелинейно-динамических процессов. В таком методе используются понятия фрактальных размерностей и фрактальных параметров фазы отраженного радиосигнала, связанные со сложной архитектурой внутренних взаимосвязей подсистем организма живого объекта.

Экспериментально показано, что фрактальная размерность фазы пульсового компонента отраженного сигнала D_q и фрактальный параметр β , который представляет собой показатель степенной функции вида $1/(f)^\beta$, спектра ритмограммы пульсового компонента отраженного сигнала связаны с оценкой функционального состояния живого объекта [1]. Они отражают степень организованности и динамической устойчивости регуляторных процессов в организме живого объекта.

Структура спектра ритмограммы пульсового компонента сигнала является фрактально-кластерной, свойства которой определяют поведение системы во внешней и внутренней средах. Изменение значения параметра β является показателем качества системных связей в регуляции ритма сердца, откуда следует возможность диагностики объекта по результатам анализа указанных параметров сигнала.

В докладе представлены результаты исследования фрактальных свойств отраженных радиосигналов, полученных при индивидуальном обследовании группы детей методом радиолокационного зондирования. Приводятся результаты анализа фрактальных структур спектра фазы пульсового компонента отраженного сигнала. Показано, что характер изменения фрактального параметра β в каждом частотном кластере спектра в течение учебного года является показателем индивидуального состояния ребенка.

Литература

1. Фёдоров В.А. Радиотехнические методы в функциональной диагностике человека. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

А.С. Баскаков, студ.; рук-ли Ю.А. Гребенко, д.т.н., проф.;
А.В. Щукин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МОСТА USB – RS-485 ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ

В последние годы техника беспроводных сетей и удаленного доступа получила стремительное развитие и широкое применение. Тем не менее, задача совершенствования узлов и устройств сбора и передачи данных в беспроводных сетях остается актуальной.

В докладе рассматриваются результаты разработки моста между узлом сбора данных и устройством обработки полученной информации, например, персональным компьютером (ПК).

Разработанный мост реализован на основе микроконтроллера PIC16F1459 [1] и приемо-передатчика ADM-485. Отличительной особенностью микроконтроллера является возможность тактирования от шины USB, т.е. без внешнего кварцевого резонатора. Управление мостом осуществляется с помощью используемого 8-битного микроконтроллера. Скорость передачи данных между отдельными узлами сети составляет 9600 кбит/с. Передача данных на ПК осуществляется посредством интерфейса USB [2].

Стек протокола USB для данного моста предоставлен компанией Microchip. Отладка и доработка стека протокола проводилась в среде MPLAB X IDE. При доработке программного обеспечения моста использованы стандартные функции системного стека контроллера. Создана программа для ПК, осуществляющая управление узлом передачи данных.

С использованием САПР Altium Designer спроектирована печатная плата. Изготовлены макеты узлов для проведения натуральных испытаний разработанного моста USB – RS-485. Результаты испытаний подтвердили работоспособность разработанного устройства.

Литература

1. [Электронный ресурс]. URL: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/40001639b.pdf>.
2. **Агуров П.** Интерфейс USB. Практика использования и программирование. СПб.: БХВ-Петербург, 2005.

В.К. Голованов, студ.; рук. Ю.А. Гребенко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ОТРАЖЕННОГО ЛЧМ СИГНАЛА В ОДНОПОЗИЦИОННОМ РАДИОЛУЧЕВОМ СРЕДСТВЕ ОБНАРУЖЕНИЯ

Однопозиционные радиолучевые средства обнаружения (ОРЛСО) широко применяются для охраны периметра различных объектов военного и хозяйственного назначения. ОРЛСО используют собственное электромагнитное поле для формирования зоны обнаружения.

Функциональная схема ОРЛСО представлена на рис. 1.

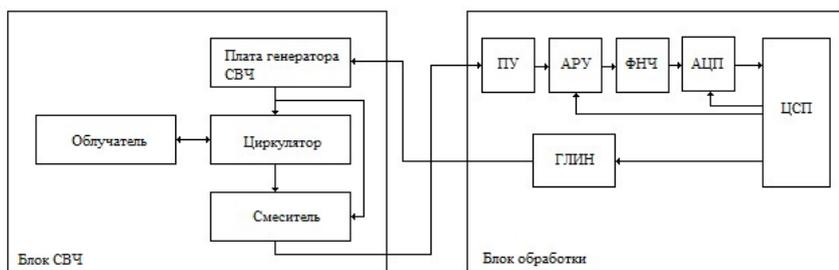


Рис. 1. Функциональная схема ОРЛСО: ПУ — предварительный усилитель; АРУ — автоматическая регулировка усиления; ФНЧ — фильтр нижних частот; АЦП — аналого-цифровой преобразователь; ГЛИН — генератор линейно-изменяющегося напряжения; ЦСП — цифровой сигнальный процессор

В докладе представлены результаты разработки математических моделей необходимых блоков алгоритма формирования и обработки сигналов в ОРЛСО. Такими блоками являются:

- блок формирования излучаемого ЛЧМ сигнала;
- блок формирования отраженного ЛЧМ сигнала;
- блок смесителя с ФНЧ;
- блок быстрого преобразования Фурье.

На основе разработанных математических моделей блоков предложен общий алгоритм формирования и обработки сигналов в ОРЛСО. В рамках разработанного общего алгоритма проведен выбор скорости изменения частоты в ЛЧМ сигнале.

Приводятся результаты моделирования, поясняющие принцип работы алгоритма обработки отраженного ЛЧМ сигнала в ОРЛСО при наличии отражений от посторонних предметов.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЕЙВЛЕТ-ФИЛЬТРАЦИИ ОТРАЖЕННОГО ОТ ЧЕЛОВЕКА РАДИОСИГНАЛА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Используемый в работе радиолокационный метод неконтактной диагностики функционального состояния организма человека [1] основан на явлении отражения электромагнитной волны от торса человека. Отраженный от человека радиосигнал несет в себе информацию о всех микроперемещениях в зоне облучаемой площадки. Часть этой информации является полезной для медицинской диагностики. В то же время в отраженном сигнале присутствуют и составляющие, которые не несут в себе диагностического смысла, т.е. являются помехами.

Такие помехи, как правило, не имеют выраженного ритма и представляют собой скачки фазы различной амплитуды, которые появляются в случайные моменты времени. Короткая временная реализация скачка фазы имеет амплитудный спектр, расположенный в широкой полосе частот. Традиционная обработка сигнала в частотной области с использованием преобразования Фурье становится затруднительной. Фурье-спектр, как известно, имеет серьезный недостаток – разложение сигнала в ряд бесконечных гармонических функций не локализует их во времени, а несет информацию только о локализации составляющих сигнала в частотной области. Необходимо искать иные методы анализа особенностей отраженного сигнала.

В данной работе рассмотрено вейвлет-преобразование [2] фазы отраженного сигнала. Вейвлет-разложение является представлением сигнала в виде обобщенного ряда по системе базисных функций, которые локализованы по частоте и по времени. Это означает, что вейвлет-спектр будет содержать в себе информацию о всех локальных особенностях сигнала.

В докладе приводятся результаты разработки алгоритма, позволяющего проводить вейвлет-фильтрацию отраженного сигнала в режиме реального времени. Интегрирование его в программное обеспечение радиолокационного измерительного комплекса дает возможность подавить нестационарные помехи, увеличить точность измерений и расширить возможности для анализа полезных составляющих отраженного сигнала.

Литература

1. **Фёдоров В. А.** Радиотехнические методы в функциональной диагностике человека. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. **Яковлев А.Н.** Основы вейвлет-преобразования сигналов: учебное пособие. М: САЙНС-ПРЕСС, 2003.

М.Ю. Зинченко, асп.; рук. Ю.А. Гребенко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РЕАЛИЗАЦИЯ ДЕКОДЕРА НИЗКОПЛОТНОСТНЫХ КОДОВ НА ПЛИС ДЛЯ ПОРТАТИВНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Для повышения эффективности передачи информации по беспроводным каналам используют метод помехоустойчивого кодирования. Он позволяет исправить возникшие ошибки на приемной стороне и восстановить исходную информацию за счет добавления избыточных символов к передаваемому сообщению. В последние годы особое внимание привлекли коды с малой плотностью проверок на четность (низкоплотностные коды) [1].

Высокая производительность и качество декодирования, большие размеры кодовых слов, работа с «мягкими» битами и «стираниями» делают применение низкоплотностных кодов очень перспективным в высокоскоростных цифровых системах передачи данных [2]. Эти коды способны при длине кодового слова больше 10^5 бит достигать предела Шеннона.

Аппаратное декодирование низкоплотностного кода является нетривиальной задачей. В [3] была предложена частично-параллельная архитектура декодера LDPC-кода стандарта DVB-S2 для шести степеней кодирования. В данном докладе приведены результаты исследования влияния параметров такой архитектуры декодера и алгоритма на время декодирования, а следовательно, и на потребляемую ПЛИС мощность. Величина этой мощности является важным показателем для портативных систем передачи данных, имеющих ограниченные ресурсы аккумуляторов. Показано влияние количества блоков обработки, разрядности обрабатываемых данных на задействованные ресурсы ПЛИС. Предложены способы уменьшения количества итераций декодирования и определения недекодируемых блоков.

Литература

1. **Gallager Robert G.** Low-density parity-check codes. Ph.D. dissertation, MIT, Cambridge, MA, 1963.
2. **Варгаузин В.А., Цикин И.А.** Методы повышения энергетической и спектральной эффективности цифровой радиосвязи: учеб. пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 352 с.
3. **Зинченко М.Ю.** Исследование и реализация алгоритмов декодирования низкоплотностных кодов // Радиотехника, электроника и энергетика: Тезисы докладов в 3 т. XXII междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ. 2016. С. 41.

Р.А. Иванов, студ.; рук. Ю.А. Гребенко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА РАДИОЧАСТОТНОЙ ЧАСТИ ПОРТАТИВНОГО ДВУХДИАПАЗОННОГО ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКА

В настоящее время активно используется технология, позволяющая с помощью программного обеспечения устанавливать и изменять рабочие радиочастотные параметры радиотехнических устройств. Такие приемопередатчики относятся к классу программно-определяемых радиосистем (англ. Software-Defined Radio, SDR) [1]. Создание унифицированного приемопередающего устройства, способного работать в широком диапазоне частот и поддерживающего различные виды модуляции, является сегодня приоритетной задачей. Вдобавок, если такое устройство используется в качестве портативного приемопередатчика, то важными параметрами являются также его габариты и потребляемая им мощность.

В докладе обсуждаются этапы разработки программно-управляемой высокочастотной части портативного двухдиапазонного приемопередатчика, работающего в диапазонах 137—174 МГц и 355—430 МГц в режиме с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ) и режиме высокоскоростной передачи данных (ВПД).

В соответствии с заданными параметрами, такими как мощность передатчика (ПРД) P_1 , чувствительность приемника (ПРМ), линейность ПРД и ПРМ, потребляемая мощность $P_{\text{потр}}$, габаритные размеры, были разработаны структурная и принципиальная схемы устройства. Радиочастотный тракт приемопередатчика был реализован на одной печатной плате. Проведенные экспериментальные исследования позволили измерить параметры радиочастотной части.

Параметры ПРД: P_1 в режиме ППРЧ — $1 \div 3$ Вт, при $P_{\text{потр}}$ высокочастотной платы — $9 \div 11$ Вт, P_1 в режиме ВПД — $0,1 \div 0,5$ Вт, при $P_{\text{потр}}$ высокочастотной платы — $2 \div 5$ Вт, $OIP3$ — 49 дБм, уровень побочных излучений и гармоник — менее -50 дБн, шумовое излучение — -140 дБн/Гц, фазовый шум гетеродина при отстройке от 10 кГц до -100 дБн/Гц.

Параметры ПРМ: коэффициент шума F — 4 дБ, мгновенный динамический диапазон — 80 дБ, динамический диапазон для режима ППРЧ — 160 дБ, $IP3$ — 0 дБм, подавление зеркального канала — более 50 дБ, потребляемая высокочастотной платой мощность — 1 Вт.

Литература

1. Галкин В.А. Основы программно-конфигурируемого радио. М.: Горячая линия - Телеком, 2013. 372 с.

М.М. Каменская, студ.; рук. Ю.А. Гребенко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ СВОЙСТВ КОМПЛЕКСНЫХ АНАЛОГОВЫХ ПОЛОСОВЫХ ФИЛЬТРОВ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА НА ИДЕНТИЧНЫХ ЗВЕНЬЯХ

Применяемая в радиоприемных устройствах (РПУ) квадратурная обработка сигнала предполагает использование квадратурных преобразователей частоты при переносе спектра. Для снижения требований к преселектору и упрощения его реализации необходимо эффективно подавить зеркальный канал приема. Это достигается посредством пропускания комплексного сигнала с выхода преобразователя через комплексный полосовой фильтр [1], настроенный на промежуточную частоту.

Рациональным вариантом реализации комплексных аналоговых полосовых фильтров являются комплексные активные RC-фильтры высокого порядка на идентичных звеньях [1, 2]. Такие фильтры в качестве активных компонентов используют операционные усилители (ОУ). Инерционность ОУ, характеризуемая ограниченной величиной площади усиления, является сдерживающим фактором при необходимости реализации требуемых частотных характеристик на центральных частотах в диапазоне единиц – десятков МГц.

Целью проведенного исследования являлась оценка влияния инерционности ОУ на АЧХ комплексного полосового фильтра высокого порядка при увеличении центральной частоты в указанном выше диапазоне. Максимальное значение центральной частоты определялось по допустимому искажению АЧХ.

Для проведения исследования разработана модель комплексного полосового фильтра Баттерворта с НЧ-прототипом 5-го порядка на идентичных комплексных звеньях [1] в среде схемотехнического моделирования MicroCap-9.

В докладе приводятся результаты исследования, полученные с использованием такой модели. В частности, показано, что при использовании ОУ с площадью усиления, например, равной 725 МГц, можно реализовать рассматриваемый комплексный полосовой фильтр с центральной частотой 20 МГц при полосе пропускания 400 кГц.

Литература

1. **Гребенко Ю.А.** Однородные устройства обработки сигналов. М.: Издательский дом МЭИ, 2009. 184 с.
2. **Гребенко Ю.А., Чжо Зей Я.** Комплексные активные RC-фильтры на идентичных звеньях // Радиотехника. 2008. № 2. С. 61—65.

МЕТОДЫ ТРАССИРОВКИ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ В САПР МИКРОСБОРОК

Разработка методов автоматизированного размещения и трассировки тонкопленочных конденсаторов на диэлектрической подложке является актуальной задачей, которая требует создания инструментальных средств.

Проблемами, представляющими интерес для разработчиков, остаются:

- создание компьютерных средств, позволяющих описать принципиальную схему в виде, удобном для машинного представления;
- разработка интерактивных средств, размещения и трассировки соединений в схемах частного применения с небольшим числом элементов на подложке пассивной микросборки;
- интерактивная коррекция полученных результатов.

Первую задачу предлагается решать методом использования символьных описаний связей: [«элемент №» — «цепь №»] и [«контактная площадка №» — «цепь №»] [1].

Вторую задачу решаем методом модифицированного волнового алгоритма Ли, предназначенного для автоматической трассировки. Предложенный в работе модифицированный алгоритм Ли предполагает многовариантное проектирование трассы каждого отдельного проводника с учетом предыстории процесса трассировки. Алгоритм предназначен для выбора кратчайшего пути от «источника» к «приемнику». В свою очередь, при наличии препятствий, а значит, и отсутствии пути к приемнику, он должен выдать сообщение о непроходимости трассы. При проведении новой трассы можно использовать опять лишь свободные ячейки. Чтобы иметь возможность продвигаться по трассе от источника к приемнику, каждой возможной свободной ячейке фрагмента трассы на каждом этапе присваиваются некоторые веса a_k , которые будут динамично увеличиваться в соответствии с выражением

$$a_k = a_{k-1} + \phi(\alpha, \beta),$$

где a_k и a_{k-1} — веса предыдущей и последующей ячеек: k и $(k - 1)$ фрагментов волны; $\phi(\alpha, \beta)$ — весовая функция; α — длины пути; β — число пересечений трасс.

Третью задачу «коррекции» решаем интерактивно визуально на дисплее при обеспечении минимума суммарной длины проводников.

Литература

1. Кандырин Ю.В., Сазонова Л.Т., Хватынец С.А. Автоматизированное проектирование конденсаторных тонкопленочных ИМС. М.: Издательство МЭИ, 2006.

М.Е. Кононов, асп.; рук. Ю.В. Кандырин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧ ВЫБОРА АНАЛОГОВ ПО ПРОТОТИПУ

В процессе разработки, проектирования и ремонта радиоэлектронных средств возникают задачи выбора оптимальных элементов и компонентов конструкций, а также задача выбора аналогов [1]. Алгоритмы выбора аналогов оперируют множествами различной мощности, содержащими большое количество числовых параметров. Ключевым требованием к таким алгоритмам является устойчивость решений к изменению собственных значений показателей качества (ПК) в силу разного рода флуктуаций и субъективных ошибок, а также их состава.

В вычислительной математике большое значение имеет чувствительность решения задачи тем или иным алгоритмом к малым изменениям входных данных. Задача или алгоритм решения задачи называется вычислительно неустойчивой, если малые изменения входных данных приводят к заметным изменениям решения. Поскольку вычисления с рациональными числами осуществляются с некоторой погрешностью, вычислительная неустойчивость приводит к невозможности решения ряда задач некоторыми алгоритмами, которые при абсолютно точных вычислениях давали бы решения. Устойчивость алгоритма к множеству решаемых задач отдаленно напоминает непрерывное отображение. Непрерывное отображение (непрерывная функция) — отображение из одного пространства в другое, при котором близкие точки области определения переходят в близкие точки области значений [2].

Вычислительную устойчивость, например, решения системы уравнений, можно определить следующим образом: при решении системы уравнений относительно x_1, \dots, x_n результатом станет множество $P(x_1, \dots, x_n)$. При незначительном изменении значения на x'_1, \dots, x'_n новое решение $P(x'_1, \dots, x'_n)$ должно быть в некоторой метрике близким к решению $P(x_1, \dots, x_n)$.

Таким образом, ключевой задачей в анализе устойчивости решений алгоритмов выбора аналогов является оценка степени расхождения результатов выбора на множествах различной мощности и анализ зависимостей результатов выбора от флуктуаций значений и состава ПК.

Литература

1. Кандырин Ю.В. Многокритериальный анализ, выбор и структурирование вариантов в САПР. М.: Издательство МЭИ, 2013.
2. Келли Дж. Л. Общая топология. М.: Наука, 1981.

*В.А. Котовский, студ.; рук-ли Ю.А. Гребенко, д.т.н., проф.;
А.В. Щукин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

В настоящее время широкое распространение получили цифровые малогабаритные энергоэффективные беспроводные устройства передачи информации. Для электропитания таких устройств рационально использовать альтернативные источники электроэнергии, в частности батареи фотоэлектрических солнечных элементов. Такие солнечные батареи являются основными источниками электроэнергии в местах, удаленных от электросетей.

Солнечные батареи имеют нагрузочную характеристику с выраженным пиком мощности. Для того, чтобы солнечная батарея находилась в режиме отдачи максимальной мощности, используются импульсные преобразователи [1], управляемые микроконтроллерами. Это дает возможность реализовать различные алгоритмы интеллектуального управления.

В докладе представлены результаты разработки устройства управления импульсным преобразователем на базе микроконтроллера PIC16F1789 [2], имеющего в составе новый программируемый PSMC-модуль, который представляет собой модернизированный 16-битный широтно-импульсный модулятор, многоканальный 12-битный АЦП и модуль компараторов. Эти компоненты позволяют реализовать требуемый алгоритм управления импульсным преобразователем.

Разработка и отладка программного обеспечения проведена в интегрированной среде разработки MPLAB X IDE. Проведена трассировка печатной платы в среде Altium Designer и изготовлен макет устройства.

Реализованный алгоритм обеспечивает отбор максимальной мощности солнечной батареи при изменении освещенности и, следовательно, эффективное использование энергии солнечной батареи.

Литература

1. **Раймонд М.** Импульсные источники питания. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008.
2. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001675C.pdf>

Н.К. Куканов, студ.; рук. Ю.А. Гребенко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОДАВЛЕНИЕ УЗКОПОЛОСНЫХ ПОМЕХ В ПОЛОСЕ ПРОПУСКАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА

В современных радиоприемных устройствах (РПУ) часто применяется квадратурная обработка сигнала, предполагающая использование квадратурных преобразователей частоты при переносе спектра. Если комплексный сигнал с выхода такого преобразователя пропустить через комплексный полосовой аналоговый фильтр, то можно эффективно подавить внеполосные помехи, в том числе и помехи по зеркальному каналу приема. Это позволяет существенно снизить требования к преселектору РПУ и упростить его реализацию. В этом случае наиболее опасной можно считать узкополосную помеху в полосе пропускания. Такую помеху можно подавить при помощи комплексного аналогового режекторного фильтра с перестраиваемой центральной частотой.

В докладе представлены результаты применения метода расчета полосовых [1] и режекторных [2] комплексных фильтров на идентичных звеньях. Разработаны принципиальные электрические схемы полосовых и режекторных фильтров на инвертирующих интеграторах на базе операционных усилителей (ОУ) с НЧ-прототипами Баттерворта 4-го порядка. Эти схемы реализованы в среде схемотехнического моделирования, и полученные характеристики подтвердили работоспособность предложенного подхода.

Таким образом, в результате моделирования можно сделать следующие выводы:

1. Подтверждена возможность подавления узкополосных помех в полосе пропускания комплексного полосового аналогового фильтра с помощью комплексного режекторного аналогового фильтра.

2. Продемонстрирована возможность перестройки центральной частоты комплексного режекторного аналогового фильтра путем синхронного изменения параметров двух резисторов в идентичных комплексных базовых звеньях.

Предложенный подход может быть применен для расчетов полосовых и режекторных фильтров с НЧ-прототипами различных видов и порядков.

Литература

1. **Гребенко Ю.А.** Аналоговые комплексные фильтры // Вестник МЭИ. 2001. № 4.
2. **Гребенко Ю.А., Чжо Зей Я.** Комплексные активные RC-фильтры на идентичных звеньях // Радиотехника. 2008. № 2.

*А.М. Левадний, студ.; М.Ю. Зинченко, асп.;
рук. Ю.А. Гребенко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ НА ПЛИС КОДИРОВАНИЯ И ДЕКОДИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПОМОЩИ КОДОВ РИДА—СОЛОМОНА

В беспроводных передающих системах в процессе передачи на сигнал могут действовать различные помехи, которые приводят к потере или искажению информации. Для решения таких проблем были разработаны коды исправления ошибок. За счет введения избыточности в исходное сообщение на приемной стороне можно исправить возникшие ошибки и восстановить передаваемую информацию [1].

Исследователями было разработано большое количество различных кодов поиска и исправления ошибок. К таким кодам относятся и коды Рида—Соломона, получившие широкое распространение в сфере цифровых телекоммуникаций [2].

Реализация на ПЛИС процедур кодирования и декодирования на основе кода Рида—Соломона является нетривиальной задачей. Представленная в докладе работа посвящена исследованию алгоритмов кодирования и декодирования и разработке оптимальной по занимаемым аппаратным ресурсам архитектуры кодера и декодера.

В ходе работы разработана и реализована в базисе ПЛИС связь компьютера с кристаллом с использованием последовательного СОМ-порта. На компьютере имитировалась зашумленная радиотрасса, Передача данных осуществлялась на скорости 115 200 бит в секунду. Использовались 12-битные символы, соединяемые в пакеты данных по 4083 символов. Всего же в блоке данных использовалось 4095 символов, из которых 12 являлись проверочными.

В процессе исследования выявлено, что при 12 проверочных символах коды Рида—Соломона позволяют исправлять до шести символьных ошибок.

Литература

1. **Скляр Б.** Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003.
2. **Riley M., Richardson I.** An introduction to Reed-Solomon codes: principles, architecture and implementation. [Электронный ресурс]. URL: www.cs.cmu.edu.

А.П. Пименов, студ.; рук-ли М.Ю. Лишак, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);
С.А. Урюпин, вед.инж. (ПАО «НПО «Алмаз»)

ПРИЕМ ИНФОРМАЦИОННОГО СИГНАЛА В СИСТЕМЕ АДАПТИВНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

В докладе рассматриваются характеристики РЛС, в которой одновременно с приемом полезного локационного сигнала осуществляется прием информационного сигнала в условиях действия внешних шумовых помех. Для ослабления влияния помех в системе проводится адаптивная пространственная фильтрация, основанная на весовом суммировании сигналов с выходов приемных каналов. Поскольку информационный сигнал имеет достаточно большую мощность, то при адаптивной пространственной обработке он подавляется так же, как помехи. Для уменьшения этого эффекта применяется регуляризация корреляционной матрицы принимаемых колебаний, используемой в алгоритме адаптации.

Регуляризованная оценка корреляционной матрицы определяется выражением [1]

$$\hat{R}_L \text{ пер} = \hat{R}_L + \mu I,$$

где μ — параметр регуляризации; \hat{R}_L — выборочная корреляционная матрица; I — единичная матрица.

В докладе приведены результаты анализа возможности этого метода на основе имитационного моделирования блока цифровой обработки РЛС в случае информационного сигнала с бинарной фазовой манипуляцией. Исследовано влияние мощности информационного сигнала и помех на величину отношения мощности сигнала к суммарной мощности помех и собственного шума приемных каналов на выходе демодулятора сигнала [отношения сигнал/(помеха+шум)]. Построены диаграммы направленности адаптивного пространственного фильтра при разных значениях параметра регуляризации и определено отношение сигнал/(помеха+шум), характеризующее степень подавления помехи и информационного сигнала. На основе этих результатов найдено оптимальное значение параметра регуляризации, при котором обеспечивается достаточно глубокое подавление шумовой помехи и незначительное ослабление информационного сигнала.

Литература

1. Ратынский М.В. Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках. М.: Радио и связь, 2003.

Р.И. Поляк, соиск.; рук. Ю.А. Гребенко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ-ЛИНЕАРИЗАТОРОВ ФАЗОЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В докладе рассматривается способ расчета коэффициентов КИХ-фильтра, предназначенного для линеаризации фазочастотной характеристики аналогового фильтра. В [1] коэффициенты определялись путем дискретизации импульсной характеристики аналогового фильтра, получаемой в процессе моделирования или экспериментально, и их порядок менялся на обратный.

В докладе обсуждается способ расчета импульсной характеристики аналогового фильтра по заданным координатам нулей и полюсов НЧ-прототипа. Такой подход позволит заранее рассчитать набор коэффициентов линеаризующего КИХ-фильтра для наиболее распространенных вариантов НЧ-прототипов. НЧ-прототип в данном случае имеет нормированную полосу, которую можно принять равной 1 рад/с. Для аналитического расчета импульсной характеристики фильтров с НЧ-прототипов заданных в виде правильной дроби будем использовать метод обратного преобразования Лапласа для передаточных функций, записанных в виде разложения в простые дроби, рассмотренный в [2].

В качестве коэффициентов линеаризующего фильтра используются дискретные отсчеты импульсной характеристики. Для получения минимального количества дискретных отсчетов импульсной характеристики аналогового фильтра целесообразно выбирать частоту дискретизации в 6 раз больше значения полосы пропускания [1]. Получение дискретных отсчетов импульсной характеристики фильтров с заданной полосой пропускания обеспечивается выбором частоты дискретизации.

Предложенный способ иллюстрируется примером расчета коэффициентов КИХ-фильтра для линеаризации фазочастотной характеристики аналогового фильтра с НЧ-прототипом Баттерворта 3-го порядка. Результаты расчетов проверены путем схемотехнического моделирования в программном пакете MicroCap и показали высокую эффективность предложенного способа расчета.

Литература

1. **Гребенко Ю.А., Поляк Р.И.** Линеаризация фазочастотной характеристики фильтра нижних частот // Вестник МЭИ. 2015. № 3. С. 90—94.
2. **Гарднер М.Ф., Бэрнс Дж. Л.** Переходные процессы в линейных системах. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961.

Б. Рэнцэнмягмар, асп.; рук. М.Ю. Лишак, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ MATLAB ОПТИМАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ЗАДЕРЖКИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА

Для повышения разрешающей способности и помехоустойчивости в современной ультразвуковой (УЗ) дефектоскопии используются сложномодулированные импульсные сигналы, в том числе сигналы с фазовой манипуляцией в соответствии с двоичной псевдослучайной последовательностью (М-последовательностью) [1, 2]. Оптимальный прием таких сигналов осуществляется с использованием согласованных фильтров (СФ), которые обеспечивают повышение отношения сигнал-шум и уменьшение длительности (сжатие) сигнала. Однако неравномерность и ограниченность полосы пропускания амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), а также нелинейность фазочастотной характеристики (ФЧХ) передающего и приемного УЗ-преобразователей приводят к искажению принятого сигнала, поступающего на СФ. В результате этого уменьшается амплитуда отклика СФ, увеличивается его длительность, возрастает уровень побочных составляющих.

Для исследования этих эффектов и оценки их влияния на точность измерения задержки сигнала в системе математических расчетов MatLab была разработана имитационная модель измерителя задержки УЗ-сигнала при его прохождении через твердую среду. Совместное влияние на УЗ-сигнал передающего и приемного преобразователей моделируется как прохождение сигнала через линейную систему с заданной импульсной характеристикой. Возможно также добавление к сигналу нормального белого шума, имитирующего собственный шум приемника. В модели рассчитываются АЧХ и ФЧХ преобразователей, автокорреляционная функция и спектр передаваемого сигнала, спектр сигнала на выходе приемника, а также отклик СФ.

В докладе приведены результаты моделирования для ряда типовых характеристик УЗ-преобразователей при различных параметрах сигнала. Полученные результаты в дальнейшем будут использованы для оценки эффективности возможных способов уменьшения искажающего влияния характеристик УЗ-преобразователей.

Литература

1. Качанов В.К., Карташев В.Г., Соколов И.В. Ультразвуковая помехоустойчивая дефектоскопия. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

2. Методы обработки сигналов в ультразвуковой дефектоскопии / В.К. Качанов, В.Г. Карташев, И.В. Соколов, Е.В. Шалимова. М.: Издательский дом МЭИ, 2010.

К.В. Савощенко, студ.; рук-ли Ю.А. Гребенко, д.т.н., проф.;
В.А. Филатов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОУПРАВЛЯЕМОГО АКТИВНОГО ФИЛЬТРА НИЖНИХ ЧАСТОТ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА

Для повышения чувствительности и избирательности в системах программно-конфигурируемого радио [1] в аналоговой части приемника важно обеспечить минимально необходимую полосу пропускания, которая может существенно изменяться для различных спецификаций принимаемых радиосигналов. Эту задачу можно решить при помощи устанавливаемого перед АЦП цифрууправляемого активного фильтра нижних частот высокого порядка.

Требуемый фильтр в полосе, занимаемой спектром полезного сигнала, должен обеспечить постоянство амплитудно-частотной характеристики и линейность фазочастотной характеристики (постоянство группового времени запаздывания). При реализации цифрового управления важными являются количество и тип управляемых элементов. Перспективными представляются цифровые потенциометры, управляемые по последовательной цифровой шине SPI или I²C, выполненные в виде интегральной микросхемы, содержащей от 2 до 8 идентичных переменных резисторов,

В докладе представлены результаты разработки и исследования требуемого активного RC-фильтра на операционных усилителях (ОУ). На звеньях второго порядка [2] разработаны каскадная структура и принципиальная электрическая схема перестраиваемого фильтра нижних частот 6-го порядка с управляемой тремя цифровыми потенциометрами частотой среза. Показаны результаты компьютерного моделирования частотных характеристик фильтра, сравнение с аналитической функцией передачи, влияние отклонений номиналов резисторов и конденсаторов, а также влияние параметров ОУ на частотные характеристики фильтра. Анализируются границы перестройки по частоте при идеальной и инерционной модели ОУ.

Литература

1. Галкин В.А. Основы программно-конфигурируемого радио. М.: Горячая линия - Телеком, 2013.
2. Белов А.В., Иншаков Ю.М. Активный RC-фильтр нижних частот // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 2012. № 6.

А.В. Сенцов, студ.; рук-ли Е.А. Богатырёв, к.т.н., проф.;
В.А. Филатов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ РАДИОЧАСТОТНОЙ МЕТКИ

Диаграмма направленности антенны (ДНА) является важнейшей характеристикой радиочастотных меток, используемых в технологии радиочастотной идентификации (англ. *Radio Frequency Identification — RFID*) [1].

Для сравнения RFID-меток различных производителей по ДНА разработан автоматизированный измерительный стенд с использованием стандартных приборов и управляющего программного обеспечения. Используемый метод измерения несколько отличается от применяемого в специализированных стендах. Объектом измерения служит уровень сигнала на выходе антенны приемной метки относительно уровня сигнала генератора, поступающего на антенну передающей метки. В специализированных стендах передающая антенна является и приемной. При этом измеряется уровень сигнала, переотраженного от метки, и определяется псевдодиаграмма направленности антенны.

В работе исследовались RFID-метки частотного диапазона 860—960 МГц. Источником сигнала служил генератор сигналов Advantex SG8, к которому была подсоединена передающая RFID-метка. В свою очередь, в качестве приемника использовался анализатор спектра RIGOL DSA1030A с подключенной к нему приемной RFID-меткой. Вращение приемной метки вокруг своей оси осуществлялось посредством поворотного столика фирмы ЭРФИД. Управление стендом выполнялось с помощью компьютерной программы, разработанной в среде графического программирования LabView. После выполнения приемной меткой полного оборота вокруг своей оси выполнялись запись в файл полученных данных об уровне принимаемого сигнала и построение графика ДНА с возможностью сохранения изображения.

В докладе представлены характеристики, полученные на разработанном стенде, и их сравнение с характеристиками, измеренными на специализированном стенде Tagformance (Voyantic, Финляндия).

Литература

1. **Финкенцеллер К.** RFID-технологии: Справочное пособие. М.: Издательский дом «Додека-XXI», 2016.

О.В. Смирнов, асп.; рук. Е.А. Богатырёв, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МОДЕЛИРОВАНИЯ СИГНАЛА, ОТРАЖЕННОГО ОТ НАГРУЖЕННОЙ АНТЕННЫ ПАССИВНОЙ РАДИОМЕТКИ

Пассивные и полупассивные системы радиочастотной идентификации (англ. *Radio Frequency Identification – RFID*), функционирующие в СВЧ диапазоне, представляют собой некоторую разновидность систем передачи данных (СПД), в которых применяется принцип модуляции обратного рассеяния для связи в обратном канале (между меткой и считывателем), а в прямом канале RFID система представляет собой типичную СПД. Принцип модуляции обратного рассеяния заключается в том, что генерируемое на стороне считывателя немодулированное колебание проходит через канал передачи данных, затем модулируется на стороне метки за счет контролируемого изменения эффективной площади рассеяния, которое достигается вариацией нагрузки антенны радиометки, и уже модулированное колебание передается обратно к считывателю.

Несмотря на кажущуюся простоту такого способа коммуникации, происходят процессы, которые неоднозначно или не полностью описываются в различных работах, изученных автором по данной проблеме. Дело в том, что метку следует рассматривать в качестве облучаемой антенны, которая нагружена на некоторую цепь согласования (фидерная линия) с варьированной нагрузкой. Излучаемое считывателем колебание возбуждает токи на поверхности антенны радиометки, что вызывает обратное отражение электромагнитной (ЭМ) волны. Колебание, возникающее в этот момент на зажимах антенны метки, передается в фидерную линию. В фидерной линии, в зависимости от ее согласованности с нагрузкой (входным сопротивлением чипа метки) образуются различные режимы: холостой ход, короткое замыкание, режим согласования, режим рассогласования. Таким образом, в фидерной линии могут возникать отраженные волны, которые будут обратно передаваться на вход антенны радиометки и излучаться в эфир вместе с отражаемым от поверхности антенны колебанием.

В докладе приводятся результаты математического анализа достаточно сложных процессов, в результате которого выводится общее выражение для мощности, отраженной от метки. Таким образом, варьируя возникающие режимы, можно управлять отражаемой от радиометки ЭМ волной, которая состоит из двух составляющих: структурной (отражаемой антенной) и модулированной (отраженной от нагрузки антенны метки). Реализуя закон изменения нагрузки антенны радиометки, можно задавать различные виды модуляции в обратном канале.

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ R-МИКРОСБОРОК

В предлагаемой работе рассмотрены методика и принципы построения САПР резистивных микросборок (*R*-ИМС). Несмотря на преобладающее распространение в РЭС полупроводниковых ИМС, тонкопленочные *R*-ИМС находят сегодня свои ниши применения. Они используются, в частности, для цепей развязки по постоянному току, создания нагрузочных резисторов для КМОП-схем, помехоподавляющих фильтров, матриц *R2R*, делителей, несимметричных SCSI-терминаторов и т. д. Конструктивно *R*-ИМС состоят из групп резисторов и их объединений. Такие резисторы имеют толщину менее 1 мкм, изготавливаются в одном технологическом цикле, что обеспечивает малые технологические разбросы и высокую экономичность процесса.

Актуальность данной работы обуславливается созданием элементов САПР *R*-микросборок, которые позволяют повысить качество и сократить время на их разработку. *Главная особенность предлагаемой методики* — это *многовариантный* подход к проектированию группы резисторов на подложке и *многокритериальный* выбор оптимального варианта из множества проектов, наилучшим образом удовлетворяющего техническому заданию. При этом полагается, что каждый допустимый по условиям и ограничениям вариант группы резисторов должен содержать в себе резисторы с рассчитанными геометрическими размерами для определенных материалов и технологий их изготовления.

Комбинаторный многовариантный синтез вариантов при проектировании групп резисторов предлагается проводить методом морфологического «ящика» [1]. В качестве морфологических признаков (МП) приняты: материал резистора и виды используемой технологии получения рисунка (фотолитографический метод, масочный метод, масочно-фотолитографический метод, электронно-ионное напыление).

Многокритериальный выбор вариантов [2] групп резисторов проводится по критериям с нарастающей силой: вначале по π -критерию $\pi(\Omega/\{\gamma_{R\Sigma}, S_{\Sigma}\})$, а затем по L -критерию $L(\Omega/\langle\gamma_{R\Sigma}, S_{\Sigma}\rangle)$. Показателями качества при этом являются общая суммарная площадь S_{Σ} и условная результирующая относительная погрешность для группы резисторов $\gamma_{R\Sigma}$. Причем для условного L -критерия предпочтения задаются исходя из требований на надсистему, например $\gamma_{R\Sigma} > S_{\Sigma}$ или $S_{\Sigma} > \gamma_{R\Sigma}$.

Литература

1. Кандырин Ю.В., Шкурина Г.Л. Процедуры генерации и выбора при проектировании технических объектов: учебное пособие. Волгоград: Издательство «Политехник» ВолгГТУ. 1999. 100 с.
2. Кандырин Ю.В. Многокритериальный анализ, выбор и структурирование вариантов в САПР. М: Издательство МЭИ, 2013. 320 с.

А.Н. Шевцов, студ.; рук-ли Ю.А. Гребенко, д.т.н., проф.;
А.В. Щукин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПОРТАТИВНОГО ВИЗУАЛЬНОГО ИНФОРМАТОРА ЭКСТРЕННЫХ СООБЩЕНИЙ

Большинство портативных устройств передачи экстренных сообщений заставляют привлечь к себе внимание, но не передают конкретную информацию.

Особенностью данного проекта является разработка визуального информатора, в процессе движения которого выводится текстовое сообщение на индикаторах в виде светодиодов, линейно расположенных друг от друга. Управление индикаторами (светодиодами) осуществляется микроконтроллером PIC18F25K22 [1] на основе информации, полученной от акселерометра (бесконтактного датчика), определяющего положение объекта в пространстве [2].

Вывод данных начинается во время движения (махов) слева направо и справа налево. Основной принцип, по которому выводится текст – измерение периода маха, деленного на количество отсчетов сообщения. Высота каждой буквы составляет 8 см. При определенном положении устройства срабатывает функция переключения сообщения. Количество возможных сообщений равняется трем.

Обмен данными между микроконтроллером и акселерометром осуществляется через последовательный периферийный интерфейс (SPI).

Разработка и отладка программного обеспечения проведены в среде MPLAB X IDE [3] с помощью отладчика PICkit3.

Для отладки алгоритма работы устройства и его испытаний разработан стенд на основе шагового двигателя, который позволяет задать скорость и направление перемещения информатора. Итогом работы стало изготовление макета устройства (печатной платы), спроектированного в САПР Altium Designer и проведение его испытаний. Результаты испытаний подтвердили работоспособность разработанного устройства и соответствие техническому заданию.

Литература

1. [Электронный ресурс]. URL: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001412G.pdf>.
2. [Электронный ресурс]. URL: <http://datasheet.elcodis.com/pdf/22/56/225607/lis302dl.pdf>.
3. **Брей Б.** Применение микроконтроллеров PIC18. Киев: МК-Пресс, 2008.

Секция 4

АНТЕННЫЕ УСТРОЙСТВА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Председатель секции — к.т.н., ассистент А.А. Комаров
Секретарь секции — аспирант Е.С. Малевич

О.Н. Белашова, студ.; рук-ли М.Д. Дусленкова, к.т.н.;
В.И. Гусевский, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАССИВНЫХ РАССЕИВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КАНАЛОВ АВТОСОПРОВОЖДЕНИЯ В ЗЕРКАЛЬНЫХ АНТЕННАХ

Предложен новый подход к построению каналов автосопровождения в зеркальных антеннах с применением управляемых пассивных рассеивателей, устанавливаемых на поверхности зеркала [1, 2]. Такое техническое решение позволяет использовать ранее разработанные антенные системы без каналов автосопровождения с новыми потребительскими свойствами без доработки имеющегося облучающего устройства и фидерного тракта [3]. Разработана методика расчета и проектирования управляемых локальных пассивных рассеивателей с определением оптимальных мест их расположения на поверхности рефлектора и величин фазовых сдвигов коэффициентов отражения рассеивателей различной структуры [4]. Результаты численного моделирования подтверждают приемлемость предлагаемого способа построения каналов автосопровождения и применимы как для однозеркальных, так и для двухзеркальных антенных устройств. Указанное направление претендует на оформление заявочных материалов для получения патента на изобретение.

Литература

1. **Адаптивная** система помехозащиты станций с зеркально-параболическими антеннами / Л.А. Белов, В.И. Гусевский, П.В. Гнедак и др. Патент РФ №85761 от 10.08.2009.
2. **Формирование** нулей в ДН зеркальных антенн с помощью пассивных рассеивателей / В.И. Гусевский, П.В. Гнедак, И.С. Довбня и др. // Радиотехника. 2009. № 1. С. 9—13.
3. **Jacavanco D.** Reflector antenna having sidelobe suppression elements. Patent USA №4631547, XII, 1986.
4. **Haupt K.** Adaptive nulling with a reflector antenna using movable scattering elements.//IEEE Transaction on AP. 2005. V. 53. No 2.

Е.А. Бородко, студ.; рук. М.С. Михайлов, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СМЕШАННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ ДЛЯ УЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ В ПАРАБОЛИЧЕСКОМ УРАВНЕНИИ

Необходимость учета влияния окружающей среды на работу радиотехнических систем была осознана уже на первых этапах применения радиоволн. Освоение метровых-миллиметровых волн поставило актуальные задачи распространения радиоволн вдоль земной поверхности сложной структуры. Разработка моделей влияния окружающей среды необходима для повышения точностных характеристик радиолокационных станций с учетом естественных и искусственных факторов окружающей среды.

Наиболее эффективным подходом анализа распространения радиоволн над сложной нерегулярной поверхностью является использование гибридных методов, в первую очередь объединение параболического уравнения [1] и геометрической оптики. Для учета диэлектрической проницаемости земной поверхности необходим учет импедансного граничного условия. При расчете поля параболическим уравнением методом расщепления и факторизации импедансное граничное условие учитывается смешанным — синусным и косинусным преобразованием Фурье [2].

Данный подход может упростить численный расчет распространения радиоволн над однородно-неровной поверхностью, заменив неровность импедансным граничным условием. В частности над морским волнением для нахождения импеданса можно использовать статистическую теорию [3], а именно двумерные пространственные спектры волн.

Литература

1. **Levy M.** Parabolic equation methods for electromagnetic wave propagation // IET. 2000.
2. **Михайлов М.С.** Расчет энергетических характеристик фазированных антенных решеток над нерегулярной поверхностью методом параболических уравнений: Дисс... канд. техн. наук. М., 2015.
3. **Захаров Ф.Н.** Численный анализ электромагнитного поля при распространении УКВ в случайно-неоднородной тропосфере над морской поверхностью: Дисс... канд. техн. наук. Томск, 2015.

А.А. Волкова, студ.; рук. М.С. Михайлов, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)

ПАССИВНАЯ РАДИОЛОКАЦИЯ В ЗДАНИИ

В работе изучается возможность применения сигналов системы WI-FI для пассивной радиолокации. Опубликована работа [1], в которой на основе обработки сигналов WI-FI осуществляется слежение за движением, распознаются жесты, измеряется дыхание и пульс человека. Это позволяет определять эмоции [2], привычки, особенности поведения человека и даже идентифицировать людей друг от друга [3], что делает более удобным внедрение концепции умного дома.

Электромагнитные волны имеют свойство отражаться от стен, предметов интерьера и биологических объектов. Первым шагом является получение интерференции поля от стен. В частном случае стены могут иметь неправильные геометрические формы (угол отличный от прямого, колонна), что должно учитываться при нахождении интерференции. Помимо одиночного отражения следует учитывать отражения высших порядков и дифракционные лучи. Движение объекта вносит изменение в интерференционную картину, по которому можно распознать это движение.

Литература

1. Fadel Adib Hongzi Mao Zachary Kabelac Dina Katabi Robert C. Miller Smart Homes that Monitor Breathing and Heart Rate / Massachusetts Institute of Technology 32 Vassar Street, Cambridge, MA 02139.
2. Mingmin Zhao, Fadel Adib, Dina Katabi Emotion Recognition using Wireless Signals / Massachusetts Institute of Technology.
3. Tong Xin, Bin Guo, Zhu Wang, Mingyang Li, Zhiwen Yu. FreeSense:Indoor Human Identification with WiFi Signals / School of Computer Science Northwestern Polytechnical University Xi'an, P. R. China.

А. М. Володин, студ.; рук. Б. Л. Коган, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МОНОИМПУЛЬСНОЙ ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ, РАБОТАЮЩЕЙ В ТРЕХ ДИАПАЗОНАХ ОДНОВРЕМЕННО

В докладе рассказывается, как проводятся электродинамическое моделирование и оптимизация характеристик моноимпульсного облучателя [1] зеркальной антенны ТНА-57 системы «Орбита» с помощью пакета электродинамического моделирования Ansoft HFSS 13.0 [2]. Рассматриваемая антенна применяется для приема телеметрической информации с быстро летящих объектов. В этом случае важно направлять антенну на объект в автоматическом режиме. Это и определяет выбор моноимпульсной схемы построения облучателя.

Модель представляет собой облучатель с суммарным и разностным каналами, состоящими из нескольких функциональных частей: три круглых диска большего и меньшего радиусов, представляют собой щелевые антенны, один диск самого большого радиуса является экраном. Они формируют разностные диаграммы с нулем в направлении визирования и максимумами в направлении конуса лучей, отклоненных от оси визирования. На трубках построены турникетные вибраторы с опорами, формирующие суммарные диаграммы с максимумом в направлении оси визирования.

Дальнейшим усовершенствованием модели является замена вибраторных антенн суммарного канала на щелевые. Это связано с тем, что фазовые центры разностных щелевых и суммарных вибраторных антенн сильно разнесены в пространстве, что приводит к снижению энергетических и пеленгационных характеристик.

Литература

1. **Родс Д.Р.** Введение в моноимпульсную радиолокацию. М.: Советское радио, 1960.
2. **Банков С.Е., Курушин А.А.** Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft. М., ЗАО «НПП «РОДНИК», 2009. 256 с.

Т.К. Габидулин, студ.; рук. А.А. Комаров, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТОВ, НАХОДЯЩИХСЯ ПОД ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Подповерхностное радиозондирование [1] применяется в широком спектре сфер нашей жизни. Одной из них является контроль расположения и состояния трубопроводов.

В качестве модельной задачи в этом случае может рассматриваться задача рассеяния плоской электромагнитной волны металлическим цилиндром произвольной формы поперечного сечения, расположенным под границей раздела с неровностями.

Представляет интерес влияние неровностей границы раздела на радиолокационные характеристики погруженного объекта.

В данной работе поставленная задача решается с помощью численного метода поверхностных интегральных уравнений [2]. С этой целью разработана программа для ЭВМ на языке программирования высокого уровня C++.

В работе исследованы диаграммы обратного рассеяния (ДОР), по которым был проведен статистический анализ полученных данных с помощью критерия χ^2 . Была подтверждена гипотеза о том, что полученные результаты распределены по нормальному закону.

Литература

1. **Баскаков А.И., Жутяева Т.С., Лукашенко Ю.И.** Локационные методы исследования объектов и сред: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. М.: Издательский центр «Академия», 2011.

2. **Васильев Е.Н., Солодухов В.В.** Метод интегральных уравнений в задачах дифракции на полубесконечных диэлектрических структурах. Препринт № 25(397). М.: ИРЭ РАН СССР, 45 с.

*М.А. Дубовицкий, студ.; А.В. Клементьева, асп.;
рук. В.И. Гусевский, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

СПОСОБ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕЭКВИДИСТАНТНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК, СОСТОЯЩИХ ИЗ ОСТРОНАПРАВЛЕННЫХ АНТЕНН

При разработке неэквилистантных фазированных антенных решеток (НФАР) существует проблема борьбы с дифракционными лепестками большой интенсивности. Их возникновение обусловлено периодическим законом расположения элементов в составе плоского раскрытия. Наиболее радикальный способ борьбы с этими боковыми лепестками состоит в разрушении периодической структуры в расположении антенных элементов. Однако при использовании в составе НФАР остронаправленных (например, зеркальных) антенн появляется возможность сохранения разрушения общей периодической структуры раскрытия за счет неодинакового изменения характера амплитудного распределения поля в раскрытии каждой индивидуальной антенны. Этот способ опирается на метод, изложенный в работе [1]. Представлены результаты численного моделирования указанного подхода, подтверждающие эти выводы.

Исследование неэквилистантных ФАР проводится двумя методами: прямой и обратной задач. В первом методе рассчитываются ДН для нескольких заранее заданных законов распределения излучателей в решетке, а также амплитуд и фаз их возбуждения. При решении обратной задачи находят оптимальное (или квазиоптимальное) размещение элементов при некоторых начальных условиях.

Несмотря на многолетнюю историю развития мировой техники фазоизмерительных радиосистем, до сих пор отсутствуют и не востребованы способы и устройства дистанционного управления положениями фазовых центров измерительных антенных устройств, образующих интерференционные пары, поскольку эта информация опосредованно участвует в формировании результатов измерений.

Литература

1. Гусевский В.И. Фазовая характеристика и фазовый центр линейных и плоских АР. Радиотехника и электроника. 1991. Т. 36. № 3. С. 433—441.

А.З. Зарипова, студ.; рук. М.С. Михайлов, к.т.н., асс. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТ МЕСТНОСТИ В РАСЧЕТЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

В данной работе был проведен расчет энергетических характеристик фазированной антенной решетки вблизи поверхности Земли методом двумерного параболического уравнения (МПУ). МПУ позволяет учесть не только изменение профиля земной поверхности, но и неоднородность тропосферы, влияние лесных массивов и искусственных сооружений на поверхность земли [1].

При выборе площадки для расположения мощной антенной решетки требуется определить границы санитарно-защитной зоны и зоны ограничения застройки с учетом реального профиля местности и расположения населенных пунктов. Для выбора наилучшего расположения антенны приходится обсчитывать разные варианты. Поэтому для расчета плотности потока мощности антенной решетки требуется оперативно определять рельеф местности или уже иметь базу данных высот для текущей местности. Для реализации определения рельефа и последующего его сохранения в базу данных была разработана программа в среде GNU OCTAVE/MatLab. С помощью этой программы удалось извлекать информацию о рельефе поверхности в заданной области с использованием электронных карт из открытых источников с открытым интерфейсом API. Информация о высотах заносится в локальную базу данных, которую можно в дальнейшем дополнять, уточнять и извлекать. Далее полученная информация использовалась в программном модуле, предназначенном для расчета энергетических характеристик фазированной антенной решетки и разработанном на базе двумерного параболического уравнения. Данный программный модуль может быть рекомендован для расчета санитарно-защитной зоны и зоны ограничения застройки вблизи фазированной антенной решетки в условиях реального рельефа [2].

Литература

1. **Levy M.** Parabolic equation methods for electromagnetic waves propagation. London, UK, IEE, 2000.
2. **Михайлов М.С.** Расчет энергетических характеристик фазированных антенных решеток над нерегулярной поверхностью методом параболических уравнений: Дисс... канд. техн. наук. М., 2015.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕТЕОСТАНЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЛНОВОДА ИСПАРЕНИЯ

В радиолокации над морской поверхностью сталкиваются с явлением аномальной рефракции — волноводом испарения, который существенно увеличивает дальность действия РЛС. Учет влияния волновода испарения необходим для корректной работы РЛС. Индекс преломления тропосферы напрямую связан с метеорологическими параметрами:

$$N = \frac{77,6}{T} \left(P + 4810 \frac{e}{T} \right),$$

где N — индекс преломления (измеряется в N -единицах); P — давление, ГПа; T — температура, К; e — упругость (парциальное давление) водяного пара, ГПа. Парциальное давление водяного пара при расчетах обычно выражается через относительную влажность $U=e/e_0$, где давление насыщенного водяного пара e_0 определяется по эмпирической формуле Магнуса.

Одним из способов обнаружения волновода и определения его параметров является непосредственное измерение окружающих метеоусловий. Наиболее распространенная аппроксимация модифицированного индекса преломления волновода испарения является модель Ешке—Паулуса, учитывающая сферичность земли [1, 2]:

$$M(x) = M(0) + 0,13 \left[x - x_d \ln \frac{x + x_0}{x_0} \right].$$

Измерив метеопараметры, можно рассчитать высоту волновода испарения. Измерения в работе планируется проводить с помощью программируемой метеостанции, спроектированной на основе Arduino. В ходе работы необходимо рассчитать погрешности, при которых будет достигаться необходимая точность определения индекса преломления.

Литература

1. **Jeske H.** State and limits of prediction methods of radar wave propagation conditions over the sea / H.Jeskeedited by A. Zancla // Modern Topics in Microwave Propagation and Air-Sea Interaction / D. Reidel,Norwell, Mass., 1973. P. 131—148.

2. **Paulus R.A.** Practical application of an evaporation duct model / R.A. Paulus // Radio Science. 1985. V. 20. No 4. P. 887—896.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ СВОЙСТВ «ВИЛОЧНОЙ» ПОКРЫВАЮЩЕЙ ОБОЛОЧКИ

Одним из способов, активно используемых для маскировки объектов от радиоизлучения, является метод волнового обтекания. Ранее в работе [1] была качественно продемонстрирована возможность использования «вилочной» оболочки для обеспечения маскирующего эффекта, однако количественный анализ ее свойств отсутствовал. Представленное исследование направлено на восполнение данного пробела.

Было проведено электродинамическое моделирование эффекта радионевидимости в среде CST Microwave Studio, при этом базовый элемент - оболочки (в соответствии с [1]), представленный на рис. 1, имел следующие параметры: длина ножки (L) 15 мм, длина раствора (R_1) 25 мм, высота (R_2) 5 мм, ширина (W) 2 мм. Исходное количество элементов оболочки $N = 36$.

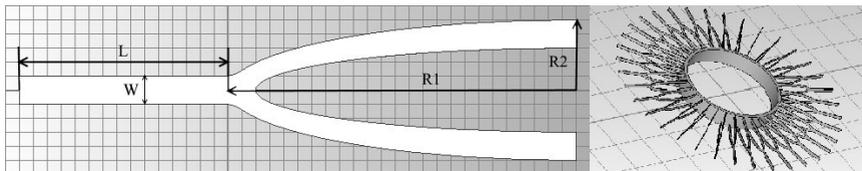


Рис. 1. Геометрия базового элемента и вид синтезированной «вилочной» оболочки

В ходе моделирования указанные параметры варьировались. Был проведен анализ частотных свойств оболочки (для случая наличия эффекта радионевидимости): частоты, соответствующей максимальной радиопрозрачности структуры (т.е. объекта, покрытого оболочкой) и полосы частот, в которой наблюдаемый эффект проявлялся наиболее ярко.

В результате исследования была отмечена существенная чувствительность характеристик к направлению падения волны на базовый элемент. Можно заключить, что максимально достижимая ширина полосы частот радиопрозрачности (в случае нормального падения) равна 1,9 ГГц при 12 базовых вилок, минимальная не опускается ниже 100 МГц, при этом ее расширение может быть достигнуто за счет уменьшения длины ножки и величины раствора. Уменьшение количества вилок и увеличение длины раствора приводит к плавному росту частоты, обеспечивающей наилучшее согласование. При увеличении же длины ножки вплоть до случая первого резонанса наблюдается обратная зависимость.

Литература

1. Wang J. An all-metal route to broadband low-loss electromagnetic cloaks // J. Phys.D: Appl. Phys. 2011. No 44.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УЗЛОВ ПРИЕМНОГО МОДУЛЯ АКТИВНОЙ РАС

В любую радиотехническую систему [1] входят множество разного рода законченных по своему функциональному назначению устройств. Но два из них — радиопередатчик и радиоприемник — играют доминирующую роль и обязательно присутствуют в любой системе. Моделированию узлов последнего посвящена данная работа.

В современных разработках в основном используют интегральные схемы, но их параметры не всегда удовлетворяют нашим требованиям. Поэтому есть необходимость создания устройства на дискретной элементной базе. Примером такого устройства является малозумящий двухбалансный смеситель (МШДБС), реализованный на микрополосковых линиях (МПЛ).

В докладе также приводятся результаты моделирования управляемого аттенуатора на рpn-диодах, обеспечивающего ослабление сигнала –32 дБ.

Моделирование проводилось в среде Ansoft Serenade [2]. Данная программа позволяет реализовать любое СВЧ-устройство с последующей оптимизацией и трассировкой печатной платы.

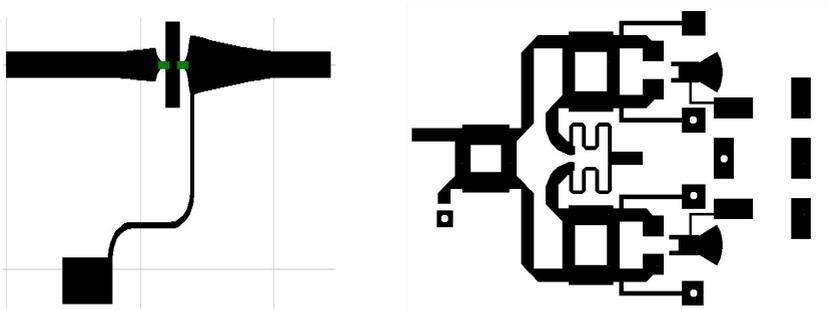


Рис. 1. Микрополосковые схемы смоделированных устройств

Литература

1. **Радиотехнические системы** / под ред. Ю.М. Казаринова. М.: Академия, 2008.
2. [Электронный ресурс]. URL: <http://softwaretopic.informer.com/ansoft-serenade-student/>

Н.А. Умпирович, М.А. Старовойтов, О.Д. Бабенко, студенты;
рук. М.Н. Мищенко, к.т.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)

КОРОТКОВОЛНОВЫЙ ТРИПЛЕКСЕР

В последние годы в соревнованиях по радиосвязи на КВ все более широкое распространение получает использование одним оператором нескольких трансиверов для одновременной работы на разных диапазонах. Кроме того, во многих соревнованиях коллективным радиостанциям, выступающим в подгруппах: «несколько операторов – один передатчик» (M/S), «несколько операторов — два передатчика» (M/2) или «несколько операторов – несколько передатчиков» (M/M), — требуется иметь возможность использовать многодиапазонную антенну для одновременной работы с несколькими трансиверами.

Схема триплексера образована тремя последовательными резонансными контурами (рис. 1). Так, например, контур 20-метрового диапазона (верхний на схеме) резонирует на частоте 14 МГц и пропускает сигналы 20 м, одновременно ослабляя сигналы других диапазонов. Каждый из резонансных контуров имеет нагруженную добротность 5, выбранную из условия обеспечения малых вносимых потерь при достаточном ослаблении сигналов других диапазонов [1].

Однако следует помнить, что защита передатчика будет обеспечена только при подключении между трансиверами и триплексером диапазоновых полосовых фильтров.

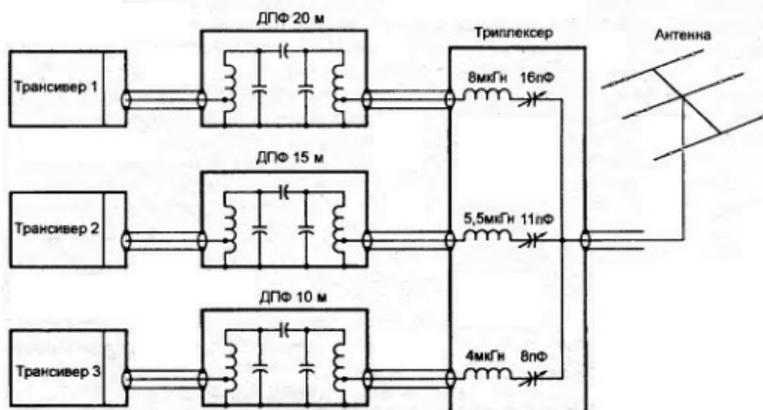


Рис.1. Схема КВ триплексера

Литература

1. **Gordon Gary.** HF Yagi Triplexer Especially for ARRL Field Day // QST. Jun 2010. Vol. 94. Issue 6. P. 37.

Секция 5

РАДИОЛОКАЦИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЕ

Председатель секции — к.т.н., ассистент Е.П. Смирнов

Секретарь секции — аспирант А.В. Ефимов

*Е.Д. Барабаш, студ.; рук-ли А.И. Баскаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»);
А.А. Черный (АО НИИП им. В.В. Тихомирова, г. Жуковский)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТИПА «АНТИПОД» ОТ НИЗКОЛЕТАЮЩЕЙ ЦЕЛИ НА ФОНЕ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Задача радиолокации целей с малыми углами места носит проблемный характер в силу целого ряда физических факторов, значительно снижающих возможности обнаружения и измерения параметров таких целей. Кроме влияния кривизны земной поверхности, к таким факторам относится отражения полезного сигнала от поверхности [1]. Другим фактором, снижающим качество обнаружения и измерения, является интерференция прямого и переотраженного поверхностью сигналов (так называемого сигнала «антипода»).

Для уменьшения степени влияния интерференции на качество обнаружения-измерения целей с малыми углами места в отдельных РЛС применяются многоэтажные антенные системы [2]. Однако подобный способ имеет низкую эффективность повышения качества измерения угла места, так как влияние на результат интерференции зависит от позиции вокруг РЛС и не обеспечиваются возможности оперативного изменения положений интерференционных провалов в зоне видимости РЛС.

В данной работе представлен разработанный алгоритм, позволяющий обнаружить сигнал низколетающей цели на фоне помех типа «антипод».

Разработанный алгоритм используется в АФАР (Н-036) в интересах предприятия АО НИИП имени В.В. Тихомирова.

Литература

1. Бердышев В.П., Гарин Е.Н., Фомин А.Н. Радиолокационные системы: учебник под общ. ред. В. П. Бердышева. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. 400 с.
2. Дудник П.И., Кондратенков Г.С. Авиационные радиолокационные комплексы и системы. М.: Изд. ВВИА имени проф. Н.Е. Жуковского, 2006. 1112 с.

*В.С. Горячкин, студ.; рук-ли А.И. Баскаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»);
В.И. Гриднев, к.т.н. (АО НИИП им. В.В. Тихомирова, г. Жуковский)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КРАЕВЫХ ЭФФЕКТОВ ПРИ ДИФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА РАЗЛИЧНЫХ ТЕЛАХ (ПЛОСКИЙ И ВЫПУКЛЫЙ ДИСК)

Одними из важнейших характеристик современных летательных аппаратов (ЛА) являются их ЭПР и ДОР. С развитием науки и техники ЭПР ЛА принимают все меньшие и меньшие значения, и в настоящее время для ЛА пятого-шестого поколений принимают значения единиц квадратных метров и менее. Немалый процент этого значения вносит АФАР, которая, например, расположена в носовой части истребителя. Основной проблемой в предстоящем исследовании являются высокие значения ЭПР и ДОР диска АФАР, значения которых рассчитываются при помощи метода интегральных уравнений и метода физической оптики [1].

Для нахождения путей решения этой проблемы в работе проводилось численное исследование в пакете CST STUDIO SUITE точными и приближенными методами расчета ЭПР и ДОР металлических тел в виде дисков. Применялись численные методы с учетом краевых эффектов и без их учета. Также проводилось исследование влияние толщины диска на результаты расчетов. В качестве приближенного метода выступал метод физической оптики, точного – метод интегральных уравнений.

В дальнейшем, проектируя новые виды АФАР, можно будет опираться на результаты проведенного исследования. Результаты исследования найдут применение в работах, выполняемых АО НИИП им. В.В. Тихомирова [2].

Литература

1. **Воскресенский Д.И., Канащенков А.И.** Активные фазированные антенные решетки. М.: Радиотехника, 2004.
2. **Курушин А.А.** Школа проектирования СВЧ устройств в CST STUDIO SUITE. М., 2014. 433 с.

Ю.А. Гусева, Е.Н. Ястребова, студенты;
рук. О.В. Черноярлов, д.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ДИСПЕРСИИ СЛУЧАЙНОГО ИМПУЛЬСА С НЕИЗВЕСТНЫМИ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

В реальных каналах передачи информации существенное ухудшение характеристик информационных систем обусловлено влиянием аддитивных помех и модулирующих (мультипликативных) искажений. В этой связи актуальна задача оценки параметров импульсных сигналов со случайной субструктурой, принимаемых на фоне мешающего гауссовского белого шума $n(t)$. Под такими сигналами будем понимать стохастические сигналы вида

$$s(t) = \xi(t) f[(t - \lambda_0)/\tau_0] I[(t - \lambda_0)/\tau_0], \quad (1)$$

где $I(x) = 1$ при $|x| \leq 1/2$ и $I(x) = 0$ при $|x| > 1/2$; λ_0 , τ_0 — время прихода и длительность импульса; $f(t)$ — функция, описывающая форму импульса, а $\xi(t)$ — реализация высокочастотного стационарного полосового гауссовского случайного процесса [1], время корреляции которого значительно меньше τ_0 .

В работе на основе метода максимального правдоподобия выполнен синтез квазиоптимального (КО) алгоритма измерения дисперсии случайного импульса (1) при условии, что его время прихода, длительность, а также центральная частота спектральной плотности субструктуры $\xi(t)$ априори неизвестны. Найдены приближенные выражения для смещения и рассеяния оценки. Определение границ применимости полученных формул аналитическими методами затруднительно. Поэтому представляет интерес исследовать помехоустойчивость синтезированного КО измерителя методами статистического моделирования на ЭВМ. Статистическое моделирование КО оценки дисперсии проводилось с использованием метода зависимых испытаний на основе формирования выборки реализаций профильтрованного нестационарного гауссовского случайного процесса $x(t) = s(t) + n(t)$ методом скользящего суммирования [1]. Анализ полученных результатов показывает, что предложенный в работе измеритель является работоспособным и асимптотически эффективным, а найденные приближенные формулы для характеристик КО оценки дисперсии удовлетворительно аппроксимируют экспериментальные данные при отношениях сигнал/шум больших 0,5—1.

Литература

1. Трифонов А.П., Нечаев Е.П., Парфенов В.И. Обнаружение стохастических сигналов с неизвестными параметрами. Воронеж: ВГУ, 1991.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Анализ существующих и перспективных систем вооружений, научных публикаций и программных исследований, а также опыт локальных войн показывают, что особое место в создании и развитии средств вооружения и военной техники имеет защита используемой радиоэлектронной аппаратуры от электромагнитного воздействия [1]. С учетом бурного развития силовой радиоэлектронной техники, которое способно мгновенно вывести систему из строя, необходимо обеспечить защиту РЭ средств от губительного воздействия. В качестве защиты от такого воздействия было предложено использовать пакет, состоящий из материалов с радиопоглощающими (радиопоглощающий материал) и экранирующими (металлизированная ткань) свойствами. Важной особенностью также являются высокий уровень ослабления сигнала и гибкость пакета в целом, что позволяет использовать его в различных прикладных задачах.

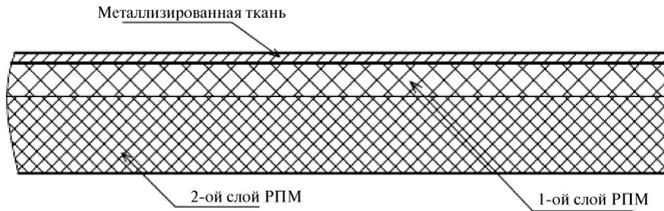


Рис. 1. Структурная схема пакета



Рис. 2. Зависимость уровня ослабления от частоты

В ходе выполнения исследований по данной теме был разработан двух-слойный радиопоглощающий материал с коэффициентом отражения не хуже -15 дБ в диапазоне частот X.

В качестве защитной функции в виде экранировки было решено принять токопроводящую ткань.

Полученное ослабление сигнала позволяет использовать пакет не только в качестве защиты от электромагнитного воздействия, но и в качестве средства снижения заметности.

Литература

1. **Ильин В.А., Марьин Н.П.** Борьба с радиоэлектронными средствами. М.: Военное издательство Министерства обороны СССР, 1972.

СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РЕЧЕВЫХ СООБЩЕНИЙ МЕТОДОМ РЕКОНСТРУКТИВНОЙ ТОМОГРАФИИ

В настоящее время биомедицинская инженерия представляет собой широкую и быстро развивающуюся область, включающую в себя как чисто физические проблемы, так и разнообразные прикладные вопросы. Одной из важных задач является разработка новых методов и алгоритмов обработки речевых сообщений. В качестве одного из основных направлений здесь можно выделить распознавание и реконструкцию речи. Однако вопросы восстановления скрытых речевых сообщений и построения адекватных радиотехнических моделей голосовой и слуховой систем до сих пор остаются по большей части нерешенными.

В работе исследованы возможности восстановления скрытого от наблюдения речевого сообщения на основе метода реконструктивной томографии [1]. В пренебрежении и с учетом мешающего действия шумов синтезированы алгоритмы формирования скрытого речевого сообщения по текущей спектральной плотности наблюдаемого речевого сигнала с помощью обратного преобразования в пространстве Радона. Для последнего случая с целью получения устойчивых и корректно работающих алгоритмов томографической реконструкции зашумленных речевых сообщений разработаны регуляризирующие процедуры весовой функции во временной или частотной областях.

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы: 1) слуховая система человека построена по принципу реконструктивной томографии и может быть адекватно описана функциональной моделью, отображающей одномерное пространство входного сигнала в многомерный стохастический точечный процесс, допускающий пуассоновскую аппроксимацию; 2) скрытое речевое сообщение определяется текущей спектральной плотностью наблюдаемого речевого сигнала и может быть восстановлено (при отсутствии шумов) по последней с помощью обратного преобразования в пространстве Радона; 3) при наличии мешающих шумов для восстановления скрытого речевого сообщения в формулах обращения преобразования Радона необходимо использовать регуляризирующие процедуры во временной или частотной областях. Получаемые при этом алгоритмы томографической реконструкции речевых сообщений обладают устойчивостью и позволяют корректно восстанавливать скрытые речевые сообщения по зашумленным проекционным данным слуховой системы.

Литература

1. Санников В.Г., Максимов М.И. Регуляризирующий алгоритм восстановления речевого сообщения методом реконструктивной томографии // *Электросвязь*. 2007. № 10.

А.В. Ефимов, асп.; рук. А.П. Брюховецкий, к.ф-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РЕАЛИЗАЦИЯ НА ПЛИС МЕТОДА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ УДАЛЕННОГО ОБЪЕКТА

В настоящее время задача позиционирования, мониторинга смещения удаленных объектов является востребованной во многих отраслях. В лаборатории НПЦ «КБ РПС» МЭИ имеются наработки по решению задач позиционирования оптическим методом [1], в котором на удаленной системе координат установлены светящиеся контрольные элементы, на неподвижной системе координат — фотоприемная матрица, а в качестве вычислителя используется персональный компьютер (ПК). По смещению пятна засветки от контрольных элементов на фотоприемной матрице через алгоритмы преобразования координат можно определить реальное смещение удаленного объекта. Реализация ПК в качестве вычислителя делает систему позиционирования довольно громоздкой и маломобильной. Была необходимость реализовать портативную систему позиционирования с использованием ПЛИС в качестве вычислителя. Для решения данной задачи автором были оценены необходимые ресурсы, выбрана ПЛИС, разработан и обоснован алгоритм и программный код для реализации метода нахождения координат центра тяжести удаленного объекта на ПЛИС. Проект ПЛИС для решения задач позиционирования в дальнейшем может быть положен в основу модернизации наработок в рамках ОКР НПЦ «КБ РПС» МЭИ по решению задач позиционирования оптическим методом.

Литература

1. Брюховецкий А.П., Усс М.О., Третьяков В.Н., Субпиксельное позиционирование в задачах контроля и слежения // Вестник МЭИ.2012. № 5. С. 80—84.

А.В. Зенина, студ. ;
рук. А.И. Баскаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОТОЧНОГО ГИДРОЛОКАЦИОННОГО ПРОФИЛОГРАФА

Одной из актуальнейших задач сегодняшнего дня является поиск затонувших объектов. За счет особенностей распространения акустических волн в твердых средах и на их границах в донный грунт могут проникать только низкочастотные акустические колебания. При этом для эффективного проникновения в грунт на заданную глубину требуется высокая мощность излучаемого сигнала.

Поэтому для исследования толщи дна наиболее эффективным средством является акустический профилограф, работающий на частотах от единиц до первых десятков кГц.

Широко распространенный линейный профилограф, удовлетворяющий жестким массогабаритным требованиям к современным гидроакустическим системам, не позволяет эффективно решать данную задачу в связи с низкой разрешающей способностью по углу из-за широкой диаграммы направленности излучающей антенны ($20^\circ - 30^\circ$). Поэтому имеет смысл рассмотреть возможность использования для решения данной задачи параметрического профилографа, принцип действия которого основан на эффекте нелинейного взаимодействия акустических волн в среде, что позволяет получить ширину диаграммы направленности порядка 3° и повысить разрешающую способность гидролокатора по углу при сохранении его конкурентных массогабаритных показателей [2].

Кроме этого, в параметрическом профилографе возможно использование сверхширокополосных зондирующих сигналов, что дает возможность повысить разрешающую способность гидролокатора по дальности и получать дополнительную информацию об объектах в толще дна.

В настоящее время только гидролокационный параметрический профилограф удовлетворяет высоким тактико-техническим требованиям, предъявляемым к гидроакустическим системам, устанавливаемым на буксируемые и телеуправляемые подводные аппараты, а также на автономные обитаемые подводные аппараты.

Литература

1. Новиков Б.К., Тимошенко В.И. Параметрические антенны в гидролокации. Л.: Судостроение, 1989.
2. Воронин В.А., Тарасов С.П., Тимошенко В.И. Гидроакустические параметрические системы. Ростов н/Д: Ростиздат, 2004.

О.О. Куц, студ.; рук. Ю.И. Лукашенко, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ РСА В РЕЖИМЕ «SCANSAR»

В радиолокаторах, разработанных как в Российской Федерации, так и в зарубежных странах, используется обзорный режим (ОР) [1], который позволяет получить широкую полосу захвата за счет электронного сканирования лучей. Такой режим используется как в радиолокаторах с АФАР, так и в радиолокаторах с гибридными зеркальными антеннами. Применение широкой полосы захвата позволяет решать актуальные задачи, связанные с мониторингом крупных площадных объектов, исследованием северного морского пути.

В докладе приводится ОР, где оператор сам выбирал ширину полосы захвата, но при этом разрешающая способность могла быть очень низкой. В качестве новизны был применен технический подход, в результате которого было выделено два направления для модификации обзорного режима: ОРп (полоса захвата) и ОРр (разрешающая способность). ОРп позволяет задействовать максимальную полосу захвата без учета требований к разрешающей способности. ОРр позволяет получить лучшее разрешение без учета требований к полосе захвата.

Исследование заключается в разработке алгоритмов расчета выходных параметров РСА [2]. На основе полученных математических формул было проведено компьютерное моделирование.

После проведения серий испытаний, если полученные результаты обработки голограммы будут положительными, то данные режимы ОРр и ОРп будут применяться в штатном использовании.

Литература

1. **Радиолокационные** системы землеобзора космического базирования / В.С. Верба и др. М.: Радиотехника, 2010.
2. **Лукашенко Ю.И.** Космические радиолокаторы с синтезированным раскрытием антенны М.: Изд-во МЭИ, 1992. 60 с.

*Е.С. Ронзина, А.С. Среднякова, студенты; рук. В.В.Хрящев, к.т.н., доц.
(ЯрГУ им. П.Г. Демидова, г. Ярославль)*

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ФИЛЬТРАЦИИ ИМПУЛЬСНОГО ШУМА ИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Проблема шумоподавления является одной из самых актуальных и пространственных проблем в области обработки изображений. Самыми распространенными видами шумов являются Гауссов и импульсный шум [1, 2]. В работе моделировалось воздействие импульсного шума, который потом удалялся с помощью двух разных типов фильтров (медианный и адаптивный медианный фильтры). Использование двух фильтров связано с тем, что при классической медианной фильтрации пропадают мелкие детали и контуры объектов становятся нечеткими и размытыми. Указанные недостатки метода классической фильтрации можно уменьшить до минимума, если воспользоваться адаптивной медианной фильтрацией. Было взято два тестовых изображения разной сложности, чтобы проследить зависимость действия фильтров. В качестве проверки и контроля выполненной работы вычислено несколько метрик оценок качества изображений, таких как ПОСШ [пиковое отношение сигнала к шуму (англ. PSNR — peak-signal-to-noise-ratio)] и КСП (коэффициент структурного подобия (англ. SSIM — structure similarity index measure]).

Установлено, что в среднем ПОСШ для адаптивного фильтра больше, чем у обычного на 4 дБ. Особое преимущество адаптивного фильтра наблюдается на интервале вероятности шума [0,4;0,8]. Здесь разница в значениях фильтров доходит до 13 дБ. Аналогичные результаты мы получаем и для метрики КСП. При больших значениях шума классический медианный фильтр не имеет смысла, так как получаемые параметры равны параметрам зашумленных нефiltroванных изображений.

Еще одной характеристикой фильтра является быстродействие. Сравнение адаптивного фильтра с классическим показывает, что для адаптивного алгоритма увеличивается время фильтрации. Время выполнения адаптивной фильтрации сопоставимо с классическим лишь при минимальном размере маски. При увеличении размера время выполнения увеличивается более чем в 10 раз.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что медианные фильтры хорошо работают, если вероятность шума невелика и в приоритете быстродействие. Адаптивный медианный фильтр дает хорошие результаты и в случае больших вероятностей импульсного шума.

Литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005.
2. Pratt W. Digital Image Processing // Third Edition. Wiley, 2001.

Л.В. Савкин, соиск.; рук. А.С. Дмитриев, д.ф.-м.н., проф.;
(ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва)

ПРИНЦИП ИДЕАЛЬНОГО НАБЛЮДАТЕЛЯ КОТЕЛЬНИКОВА В НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДАХ ФОРМИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИЙ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ

В докладе представлены результаты разработки и исследования способов формирования траекторий радиолокационных объектов (РЛО), основанных на использовании модифицированных вероятностных нейронных сетей (PNN-сети) [1, 2]. Модифицированная версия PNN-сети отличалась от традиционных PNN-структур задействованием двух различных типов функций активации (радиально-базисная и кусочно-линейная) и двухуровневого аппроксимирующего выхода. На базе разработанной модели PNN-сети показан простой способ построения траектории РЛО с применением критерия идеального наблюдателя Котельникова. На основе данного критерия осуществляется принятие решений о сужении либо расширении коридора «запасных» значений траектории РЛО $\Delta S = S(t) - S_0(t)$ относительно центральной функции $S_0(t)$, при этом четырехкомпонентный вектор входных данных $x_{вх}(t)$ PNN-сети согласуется с первым слоем суммирования таким образом, чтобы выполнялось условие об известных априорных вероятностях для каждой из гипотез о негладком (скачкообразном) появлении значения функции регистрируемой траектории $S(t)$ в плоскости двумерного радиопортрета Oxy . Данное условие наряду с условием отсутствия различий в значимости ошибок первого и второго рода составляет возможность применения критерия Котельникова в качестве решающего правила при оценке стоимости ошибки скачкообразного перехода (смещения) значения функции $S(t) = f(x_{вх}, t)$ относительно значений функции $S_0(t)$.

Приводятся примеры построения траекторий одиночных и групповых радиолокационных объектов с простыми и кусочно-составными траекториями движения. В качестве среды имитационного моделирования PNN-сети, вектора $x_{вх}(t)$ и двумерного радиопортрета был задействован программный пакет MatLab&Simulink R2014b.

Литература

1. **Каширина И.Л.** Нейросетевые технологии: учебно-методическое пособие для вузов. Воронеж: Изд-во Воронежского гос. ун-та, 2008. 72 с.
2. **Татузов А.Л.** Нейронные сети в задачах радиолокации. Кн. 28. М.: Радиотехника, 2009. 432 с.

Е.Ю. Соболев, студ.; рук. В.Н. Третьяков, к.т.н. доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО КУРСУ ТЕЛЕВИДЕНИЯ И ВИДЕОТЕХНИКИ «РАБОТА С КАМКОРДЕРОМ И НЕЛИНЕЙНЫЙ МОНТАЖ»

Для видеосъемки репортажей, сюжетов видеофильмов в телевидении широко используется камкордер. Отснятый камкордером видеоматериал передается на монтажный компьютер, где происходит его обработка [1]. Обработка видеоматериалов происходит с помощью специальных программ, где можно наложить звук, добавить титры и многое другое.

В современных видеостудиях такая обработка осуществляется посредством нелинейного монтажа (NLE) [2]. Разрабатываемая автором лабораторная работа посвящена работе с камкордером и обучению студентов нелинейному монтажу.

Данная лабораторная работа позволит студентам освоить особенности работы видеооператора и изучить простые способы обработки видео посредством нелинейного монтажа (NLE).

В ходе данной работы автором разрабатывается руководство к лабораторной работе, включающее цель работы, задания, выполняемые при подготовке к работе и в лаборатории, методические указания по выполнению работы, краткое описание камкордера и программы, в которой будет проводиться нелинейный монтаж, а также техника безопасности при работе с аппаратурой.

Разработанное автором описание лабораторной работы включает задания, соответствующие разработанной методике исследований с подробными объяснениями действий. В ходе выполнения лабораторной работы полученные видеоматериалы копируются на компьютер, где в дальнейшем осуществляется их обработка. В завершении лабораторной работы оценивается качество работы каждой бригады.

В дальнейшем планируется внедрение данной лабораторной работы в учебный процесс на кафедре радиотехнических приборов и антенных систем (РТП и АС) НИУ «МЭИ».

Литература

1. Джакония В.Е., Телевидение. М.: Горячая линия-Телеком, 2007.
2. Кузнецов Г.В., Цвик В.Л., Юровский А.Я. Телевизионная журналистика: учебник. — 4-е изд. М.: Высшая школа, 2002.

И.А. Соколов, студ.;
рук-ли А.И. Баскаков, д.т.н., проф. («НИУ «МЭИ»);
В.Е. Пигин, (АО НИИП им. В.В. Тихомирова, г. Жуковский)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА В РАДИОЛОКАЦИИ, ЕГО ПЛЮСЫ И МИНУСЫ

Произвольный информационный сигнал обычно рассматривается в виде суммы разнотипных составляющих: региональной функции тренда, циклических компонент с определенным периодом повторения, локальных особенностей (аномалий) разного порядка и флуктуаций (шумов) вокруг всех вышеперечисленных составляющих сигнала [1]. Инструментом разделения (декомпозиции) сигналов на такие составляющие, анализа их порядка и реконструкции сигналов из определенных составляющих (или с исключением определенных составляющих, например шумов или мало-значимых деталей) является кратномасштабный (многомасштабный) анализ (КМА).

КМА позволяет получить хорошее разрешение по времени (плохое по частоте) на высоких частотах и хорошее разрешение по частоте (плохое по времени) на низких частотах. Следовательно, данный подход актуален, если сигнал имеет короткие высокочастотные компоненты и протяженные низкочастотные компоненты [2]. Именно такие сигналы и встречаются чаще всего в радиолокации.

В данной работе автором разработана тестовая модель в среде LabView.

Цель данной работы сравнить эффективность БПФ и КМА в обычном режиме работы РЛС и критическом, где мы можем уже не увидеть сигнал, например когда две цели при БПФ могли бы казаться одной. Предполагается, что КМА должен лучше проявить себя там, где БПФ уже может не работать.

Перспективами данной работы являются использование ее результатов на бортах боевых самолетов.

Литература

1. **Вейвлеты** и их использование / И.Л. Дремин и др. // Успехи физических наук. 2001. Т. 171. № 5. С. 465—501.
2. **Петухов А.П.** Введение в теорию базисов всплесков. СПб.: Изд. СПбГТУ, 1999. 132 с.

А.С. Среднякова, Е.С. Ронзина, студенты; рук. В.В. Хрящев, к.т.н., доц.
(ЯрГУ им. П.Г. Демидова, г. Ярославль)

ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ БИЛАТЕРАЛЬНОГО ФИЛЬТРА

Цифровая обработка необходима для лучшего восприятия изображений, подверженных влиянию шумов. Аддитивный белый гауссовский шум (АБГШ) — наиболее распространенный вид помех, используемый для расчета и моделирования различных систем [1]. Использование нелинейных фильтров позволит избежать дополнительного искажения исходных данных при удалении шума. Так, сгладить изображение с сохранением четких границ позволяет билатеральный фильтр.

Исследование заключается в рассмотрении набора стандартных изображений разной сложности, моделировании ситуации воздействия АБГШ, а также применении алгоритмов билатеральной фильтрации и его модификации. Моделирование происходит в среде программирования MatLab.

Оценка результатов проведенных экспериментов проводится при помощи метрик peak signal-to-noise ratio (PSNR) и structure similarity index measure (SSIM).

Результаты исследований позволяют сделать следующие выводы:

- билатеральный фильтр позволяет сохранить очертания изображенных объектов даже при сильном зашумлении (например, при дисперсии АБГШ, равной 0,50, и нулевом математическом ожидании);
- для изображений разной «сложности» качество отфильтрованного изображения по сравнению с зашумленным представляет разные значения, судя по величинам PSNR.

Так, например, применение билатерального фильтра к «простому» изображению Peppers.bmp, содержащему АБГШ, увеличивает похожесть изображения на оригинальное в среднем на 9,4 дБ (в 8,7 раз).

Для изображений «средней сложности» значение PSNR увеличивается чуть больше: на 9,79 дБ (в 9,5 раз) для Lenna.bmp и на 10,1 дБ (в 10,23 раза) для Scarlett.bmp.

Однако для «сложных» изображений сходство увеличивается лишь на 6,81 дБ (в 4,8 раз) для Barbara.bmp и на 6,25 дБ (в 4,2 раза) для Baboon.bmp. К тому же при малой величине дисперсии $\sigma = 0,005$ видим, что PSNR зашумленного изображения Baboon.bmp больше, чем отфильтрованного.

Литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005.

Д.О. Тугарина, студ.; рук. А.П. Брюховецкий, к.ф.-м.н., доц.
(НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ И ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СИГНАЛОВ МЕДИЦИНСКОГО НАПРАВЛЕНИЯ

Работа связана с возможностью исследования сложных нестационарных сигналов. Предметом изучения и анализа являются сигналы медицинского профиля типа кардиограмм.

Работа предваряется изучением возможностей анализа сигналов с помощью преобразования Фурье (ПФ) и вейвлет-преобразования (ВП). Оценивается роль и возможности ВП для одновременной интерпретации частотных и временных характеристик нестационарных сигналов [1]. Пример нестационарного сигнала представлен на рис. 1, а его ВП — на рис. 2.

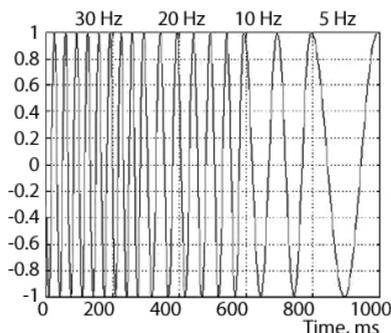


Рис. 1. Нестационарный сигнал

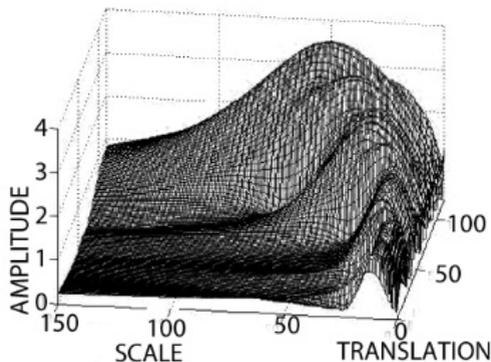


Рис. 2. Вейвлет-преобразование нестационарного сигнала, представленного на рис. 1

Проводится исследование возможностей проведения вейвлет-анализа с использованием среды MatLab и его приложений. Приведен обзор возможных подходов к цветовой визуализации результатов мультимасштабного анализа. Приводятся анализ и исследование программных алгоритмов для обработки и сравнения нестационарных сигналов медицинского профиля. Программные алгоритмы отрабатываются на простых сигналах [2].

Рассматриваются варианты использования блочного разделения сигналов для визуализации мультимасштабного анализа сложных нестационарных сигналов.

Работа задумывалась с целью получения методики анализа нестационарных сигналов медицинского направления.

Литература

1. **Добешин И.** Десять лекций по вейвлетам. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 464 с.
2. **Смоленцев Н.К.** Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MatLab. М: ДМК Пресс, 2005. 304 с., ил.

А.В. Шарафутдинова, студ.;
рук-ли А.И. Баскаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»);
В.Е. Пигин (АО НИИП им. В.В. Тихомирова, г. Жуковский)

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ФОРМИРОВАНИЯ И СЖАТИЯ СИГНАЛА, МАНИПУЛИРОВАННОГО М-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬЮ

В настоящее время все большее применение находят радиосистемы, использующие сложные радиосигналы, т.е. сигналы, у которых величина произведения длительности на ширину спектра много больше единицы [1]. Такие системы имеют высокую эффективность при решении различных радиолокационных задач. Сложные сигналы позволяют повышать разрешающую способность как по времени (дальности) и частоте (скорости), так и увеличивать ее энергетический потенциал [2]. Реализация потенциальных свойств сложных сигналов достигается при когерентном формировании и обработке, поэтому обеспечение когерентности сложных сигналов, да и вообще работа с этими сигналами являются важной и актуальной задачей.

В данной работе автором моделируется фазоманипулированный сигнал М-последовательности, реализуемый в программной среде LabView. Также с помощью модели проводится сжатие М-последовательности в присутствии эффекта Доплера, с осуществлением оптимальной фильтрации.

Перспективой данной работы является использование результатов в разработках, выполняемых предприятием.

Литература

1. **Баскаков А.И., Жутяева Т.С., Лукашенко Ю.И.** Локационные методы исследования объектов и сред. М.: Академия, 2011. 375 с.
2. **Трухачев А.А.** Радиолокационные сигналы и их применения. М.: Воениздат, 2005. 320 с.

А.В. Щербинин, студ.;
рук-ли А.И. Баскаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»);
В.И. Гріднев, к.т.н. (АО НИИП им. В.В. Тихомирова, г. Жуковский)

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ШУМА ДЛЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ (АФАР)

Электрические сканирующие антенны – активные фазированные антенные решетки (АФАР) – нашли широкое применение в радиоэлектронных системах, в частности в радиолокации [1].

В современных ВЧ и СВЧ устройства необходимо принимать и обрабатывать более слабые сигналы, чем раньше. Чем более слабые сигналы приходится обрабатывать, тем большее значение приобретают такие параметры, как чувствительность тракта и коэффициент шума. Коэффициент шума также является одним из параметров для аттестации антенных систем. В радиотехнических системах радиолокации и навигации предъявляются все более жесткие требования к данным параметрам. В связи с этим встает вопрос о наиболее точном методе определения коэффициента шума [2].

АФАР является многоканальной антенной системой, для которой не применимы классические методы измерения, как для одноканальных систем [3].

В этой работе представлен разработанный автором метод измерения коэффициента шума для такой многоканальной системы, как АФАР, приведены теоретические сведения о параметре, выведены необходимые формулы и проведен расчет коэффициента шума с использованием предложенной методики для многоканальной системы.

Разработанный метод используется для аттестации коэффициента шума антенных систем в интересах предприятия АО НИИП имени В.В. Тихомирова.

Литература

1. **Воскресенский Д.И., Канащенков А.И.** Активные фазированные решетки. 2004. 487 с.
2. **Agilent Technologies** «Основы измерения коэффициента шума в радиочастотном и микроволновом диапазонах». Изд-во «Keysight», 2012.
3. **Бельчиков С.** Коэффициент шума. Теория и практика измерений. М.: Компоненты и Технологии, 2008.

Секция 6

СИСТЕМЫ РАДИОАВТОМАТИКИ И РАДИОУПРАВЛЕНИЯ

Председатель секции — к.т.н., доцент Р.С. Куликов
Секретарь секции — ассистент Е.В. Захарова

А.М. Ахламова, студ.; рук. А.Ю. Шатилов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОШИБКИ В СИСТЕМЕ ФАП ПРИ ПОДДЕРЖКЕ ОТ ИНС

В работе рассматривалось воздействие ошибки процесса ускорения фазы от ИНС на систему ФАП [1]. Было проведено моделирование в среде MatLab, в результате которого получены и проанализированы динамические ошибки в системе ФАП, возникающие за счет ошибок поддерживающего процесса от ИНС, в частности построен график зависимости динамической ошибки от полосы пропускания (рис. 1). Было установлено, что даже при использовании ИНС класса МЭМС возможно сузить полосу ФАП до 0,3 Гц. Также при сравнении динамических ошибок от ИНС и ОГ было получено, что при одних и тех же значениях полосы пропускания динамическая ошибка от ИНС класса МЭМС на порядок ниже, чем у ОГ с водородным стандартом частоты.

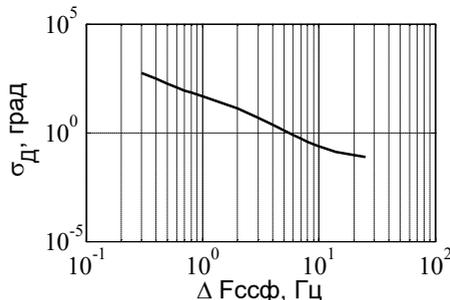


Рис. 1. График зависимости динамической ошибки от полосы пропускания (0,3—25 Гц)

Литература

1. Перов А.И., Харисов В.Н. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования. — Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Радиотехника, 2010. 800 с.

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛАНАРНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК С ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИММЕТРИЕЙ В УСТРОЙСТВАХ ПОМЕХОЗАЩИТЫ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ

Повышение помехоустойчивости навигационной аппаратуры потребителей спутниковых радионавигационных систем (НАП СРНС) – одно из перспективных направлений развития систем спутниковой радионавигации в целом [1]. Наиболее эффективные методы помехозащиты – пространственно-временные (ПВ), которые используют антенную решетку (АР) для управления диаграммой направленности приемной системы и частотно-временные степени свободы для обработки широкополосных помеховых сигналов, борьбы с многолучевостью, выравнивания частотных характеристик аналоговых трактов и др.

На сегодняшний день известно множество схем построения ПВ устройств подавления помех. Наибольшее распространение получила схема классического компенсатора помех [1], в которой присутствуют опорный и компенсационные каналы. Известно, что характеристики элементов АР и их расположение непосредственно влияют на эффективность работы адаптивной системы с решеткой [2].

В ряде отечественных помехозащищенных изделий НАП СРНС, выполненных по схеме компенсатора помех, используется планарная геометрия АР в виде квадрата [3–5]. Авторами доклада был показан существенный недостаток использования подобной геометрии АР в схеме компенсатора помех. Недостаток наблюдается при действии N-1 помех на N-элементную АР и заключается в том, что для определенных направлений прихода помеховых сигналов эффективность работы компенсатора мала или отсутствует. Полученные результаты могут быть использованы на этапе выбора геометрии АР компенсатора помех.

Литература

1. **Перов А.И., Харисов В.Н.** ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования. — Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Радиотехника, 2010. 800 с.
2. **Монзинго Р.А.** Адаптивные антенные решетки. М.: Радио и связь, 1986.
3. **Ефименко В.С., Харисов В.Н.** Экспериментальное исследование цифрового антенного компенсатора помех для приемника СРНС // РТ. 2008. № 7.
4. **Ефименко В.С., Харисов В.Н.** Характеристики подавления помех в первом образце помехоустойчивой аппаратуры потребителей СРНС ГЛОНАСС/GPS с адаптивной антенной решеткой // РТ. 2010. № 7.
5. **Ефименко В.С., Харисов В.Н.** Оценка характеристик подавления помех приемникам ГНСС с антенными решетками в реальных условиях // РТ. 2013. № 7.

В.В. Днепров, асп.; рук. И.В. Корогодин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ УГЛОМЕРНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ ПОТРЕБИТЕЛЯ С ГИРОСКОПАМИ НИЗКОГО КЛАССА ТОЧНОСТИ

Задача определения пространственной ориентации объекта по сигналам спутниковых радионавигационных систем (СРНС) решается при помощи угломерной навигационной аппаратуры потребителя (УНАП). С другой стороны, определение ориентации осуществляется инерциальными навигационными системами (ИНС). Известно [1, 2], что комплексирование, т.е. совместная обработка информации обеих указанных систем, позволяет получить интегрированную систему, обладающую лучшими характеристиками, чем системы по отдельности. Определение ориентации в УНАП осуществляется путем измерения разностей фаз сигналов, принятых в пространственно-разнесенных точках. При этом используют разницу фазовых измерений отдельных систем слежения за фазой (ССФ) либо оценки системы слежения за разностью фаз (ССРФ) [3]. Комплексирование ССРФ с инерциальными датчиками, в частности с трехосевым гироскопом, позволяет сузить полосу следящей системы и тем самым повысить помехоустойчивость самой ССРФ, а следовательно, и УНАП в целом. В то же время использование нескольких измерителей одной и той же физической величины позволяет оценить и компенсировать погрешности, присущие инерциальным датчикам (смещения нулей, погрешность масштабных коэффициентов).

В работе изложен алгоритм комплексирования системы слежения за разностью фаз с трехосевым гироскопом в угломерной навигационной аппаратуре потребителей. Приводятся результаты имитационного моделирования для случая комплексирования с микромеханическим датчиком InvenSense MPU6050. Показано, что в зависимости от динамики вращения объекта выигрыш в помехоустойчивости составляет 8—11 дБ.

Литература

1. **Гребенников А. В., Кудревич А. П., Оганесян А. А.** Особенности применения нерадиотехнических измерителей в угломерной НАП // Радионавигационные технологии / под ред. А.И. Перова // Радиотехника. 2015. №4. С. 33—38.
2. **Шатилов А. Ю., Нагин И. А.** Тесно связанный алгоритм комплексирования НАП СРНС и многоцелевой ИНС // Радиотехника. 2012. № 6. С. 118—125.
3. **Перов А. И.** Алгоритм комплексирования следящей системы за разностью фаз навигационных сигналов с инерциальной навигационной системой // Радиотехника. 2014. № 9. С. 113—118.

Д.В. Днепров, асп; рук. Е.Н. Болденков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ СТРАТОНОВИЧА И МЕТОДА ТРАЕКТОРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

В теории оптимальной фильтрации [1] для нахождения оценок математического ожидания и дисперсии случайных процессов используются уравнения фильтра Калмана, заменяющие непосредственный расчет апостериорной плотности вероятности, которая полагается гауссовской. В случаях, когда АПВ не является гауссовской, возможно применение численных методов для нахождения самой АПВ и оценок моментов случайного процесса.

В докладе приведены результаты сравнительного анализа и моделирования линейной и нелинейной систем ФАП 1, 2 порядка. Нахождение оценок моментов случайных процессов осуществляется с помощью алгоритмов линейной, нелинейной фильтрации, а также путем численного расчета АПВ.

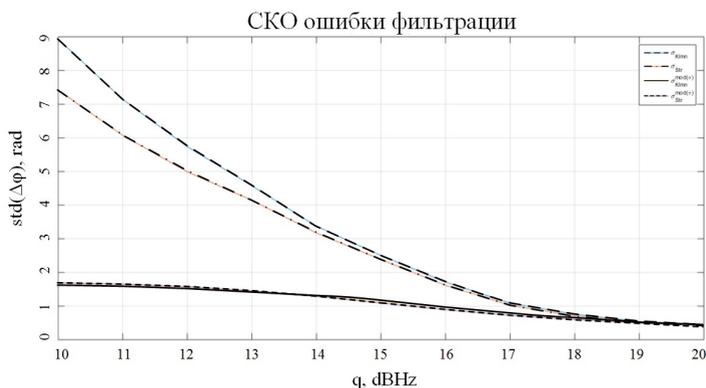


Рис. 1. СКО ошибки фильтрации

Литература

1. Перова А.И., Харисов В.Н. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования. — Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Радиотехника, 2010. 800 с.

АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ

В теории оптимального оценивания отдельно выделяют интерполяцию, фильтрацию и экстраполяцию [1]. Фильтрационная оценка процесса формируется синхронно с поступающими наблюдениями, экстраполяционная оценка формируется для некоторого момента в будущем относительно полученных наблюдений, а интерполяционная оценка — для некоторого момента в прошлом. Можно заключить, что интерполяционная оценка должна быть точнее, чем фильтрационная оценка. Плата за точность — это запаздывание оценки относительно текущего момента времени. Тем не менее, в некоторых случаях такое запаздывание может быть допустимым.

Выведен алгоритм оптимальной нелинейной интерполяции, когда динамика процесса задана линейным разностным процессом, а модель наблюдений задана нелинейным уравнением.

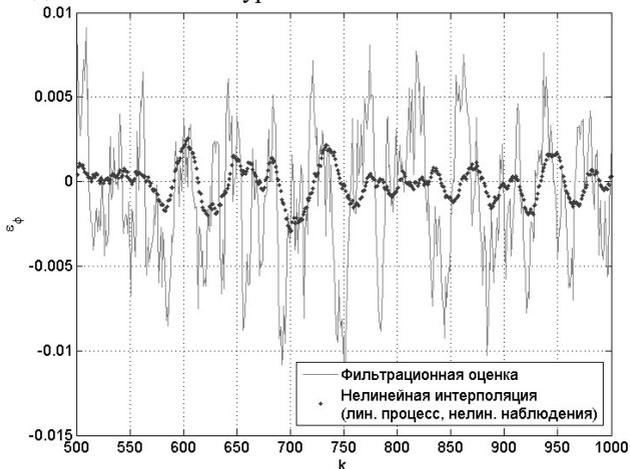


Рис. 1. Графики реализаций ошибок в фильтрационном и интерполяционном алгоритмах

Выполнена проверка полученного алгоритма на задаче оценивания трехкомпонентного марковского процесса (рис. 1). Выборочное СКО фильтрационной оценки составило 0,0047, интерполяционной 0,0015. Таким образом, применение нелинейной интерполяции позволило снизить СКО втрое при задержке выдачи результата 10 тактов (100 мс).

Литература

1. Перова А.И., Харисов В.Н. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования. — Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Радиотехника, 2010. 800 с.

С.П. Ипполитов, асп.; рук. А.И. Перов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЕЗНОГО СИГНАЛА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ СТРУКТУРУ АНТЕННОГО ПОДАВИТЕЛЯ ПОМЕХ НАП СРНС

Применение антенных подавителей помех в навигационной аппаратуре потребителей (НАП) обусловлено их значительным вкладом в повышение помехоустойчивости.

При этом наиболее простой и распространенной структурой подавителя является автокомпенсатор помех (АКП), весовые коэффициенты (ВК) которого рассчитываются исходя из критерия минимума мощности процесса на выходе АКП [1].

При синтезе такого подавителя помех не учитывается наличие полезного сигнала во входном процессе, поэтому параметры полезных (амплитуда, фаза) сигналов на выходе подавителя помех будут зависеть от ВК, которые, в свою очередь, зависят от сигнально-помеховой обстановки (рис. 1).

Данный факт приводит к тому, что при малом угловом размере между линиями, характеризующими направления на сигнал и помеху, происходит значительное уменьшение амплитуды и искажение фазы полезного сигнала.

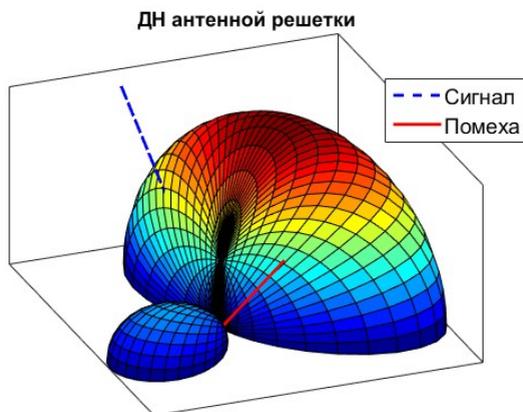


Рис. 1. Диаграмма направленности антенной решетки

Литература

1. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки. Введение в теорию: пер. с англ. М.: Радио и связь. 1986. 448 с., ил.

В.С. Лукьянов, студ.; рук. Е.Н. Болденков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ФАЗОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОДНОГО НАВИГАЦИОННОГО ПРИЕМНИКА

На сегодняшний день в аппаратуре потребителей спутниковых радионавигационных систем задача фазовых измерений решается с использованием трех независимо друг от друга работающих навигационных приемников, к каждому из которых подключены своя антенна и компьютер, который обрабатывает данные с каждого приемника [1, 2].

Фазовые измерения обладают той особенностью, что имеют высокую потенциальную точность, и их можно использовать как для уточнения координат, так и для определения ориентации в пространстве потребителя.

В настоящей работе исследовалась возможность и качество фазовых измерений с использованием не трех навигационных приемников, а одного (с точно такими же характеристиками и возможностями). Суть идеи состоит в том, чтобы приемник по очереди работал с каждой из трех антенн, а потом по накопленной в компьютере информации решалась навигационная задача.

Схема обычного фазового измерителя приведена на рис.1. Предлагаемая схема приведена на рис. 2.

На настоящий момент уже собрана схема, изображенная на рис. 2, и идет поиск оптимальной частоты переключения между антеннами. Также осуществляется поиск наиболее качественного алгоритма обработки данных, поступающих в компьютер из приемника.



Рис. 1. Стандартная схема, используемая для фазовых измерений

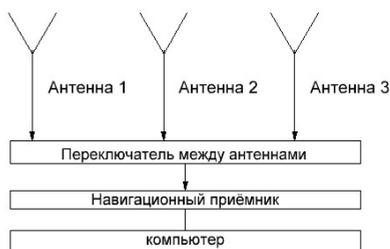


Рис. 2. Исследуемая новая схема для фазовых измерений

Литература

1. **Монаков А.А.** Теоретические основы радионавигации: учеб. пособие. СПб.: СПбГУАП, 2002. 70 с.
2. **Бакалуев П.А., Сосновский А.А.** Радионавигационные системы: учебник для вузов. М.: Радиотехника, 2005. 224 с.

А.Ю. Устинов, асп.; рук. А.И. Перов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

КВАЗИОПТИМАЛЬНЫЙ ПРИЕМ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ С РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ

Глобальные радионавигационные спутниковые системы (ГНСС) ГЛОНАСС и GPS находят широкое применение в различных сферах жизнедеятельности человека, обеспечивая высокие точностные характеристики определения координат потребителя [1]. Однако в условиях сложной электромагнитной обстановки точность определения координат может существенно ухудшаться. Для поддержания высокой точности определения координат в локальном регионе в дополнение к ГНСС могут разворачиваться локальные наземные радионавигационные системы (ЛНС) на базе псевдоспутников. Особенностью применения ЛНС на базе псевдоспутников является большой динамический диапазон (ДД) мощности сигнала на входе приемника, который может составлять 40 дБ и более. Работа приемника с использованием стандартных алгоритмов обработки при таком ДД нарушается, что может привести к срыву слежения [2, 3]. Улучшить характеристики слежения за слабым сигналом в этом случае можно за счет изменения алгоритмов обработки сигналов.

В докладе представлены результаты синтеза квазиоптимальных алгоритмов фильтрации фазы и задержки навигационных сигналов локальной навигационной системы на базе псевдоспутников, имеющих существенно различную мощность. Синтезированные алгоритмы отличаются от известных тем, что в них в дискриминаторах фазы и задержки осуществляется компенсация мешающих сигналов. Также в докладе приводятся результаты моделирования, из которых следует, что синтезированные алгоритмы обеспечивают слежение за навигационными сигналами, мощность которых может различаться до 51 дБ, что на 19 дБ лучше аналогичной характеристики для приемника, работающего с использованием известных (стандартных) алгоритмов обработки, и перекрывают возможный диапазон различия мощностей сигналов в наземных локальных навигационных системах на базе псевдоспутников.

Литература

1. **Перов А.И., Харисов В.Н.** ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования. — Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Радиотехника, 2010. 800 с.
2. **Перов А.И.** Статистическая теория радиотехнических систем. М.: Радиотехника, 2003.
3. **Шувалов А.В.** Анализ и синтез алгоритмов первичной обработки сигналов GPS/ГЛОНАСС в навигационных комплексах при воздействии структурно-детерминированных помех: Дисс... канд. техн. наук. М., МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006.

Секция 7

СЕТИ И СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Председатель секции — д.т.н., профессор Н.С. Губонин

Секретарь секции — к.т.н., доцент А.Ю. Сизякова

А.А. Вєрвїхвост, студ.; рук. А.Ю. Сизякова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА BER НЕКОГЕРЕНТНОГО ДЕМОДУЛЯТОРА СИГНАЛА 2ОФМ С ПРЧ

Для обеспечения помехозащищенности современных радиосистем передачи информации (СПИ) и управления, функционирующих в условиях действия сосредоточенных во времени и по частоте помех, используют сигналы с расширенным спектром, к которым относятся сигналы с перестройкой рабочей частоты (ПРЧ) [1].

В исследовании рассмотрены вопросы помехоустойчивости квази-оптимального некогерентного приемника сигнала 2ОФМ с детерминированной ПРЧ. Для этого разработана цифровая модель СПИ, состоящая из формирователя сигнала и супергетеродинного приемника с переносом спектра на фиксированную промежуточную частоту. На рис. 1 представлена зависимость BER от отношения E_b/N_0 , полученная на модели.

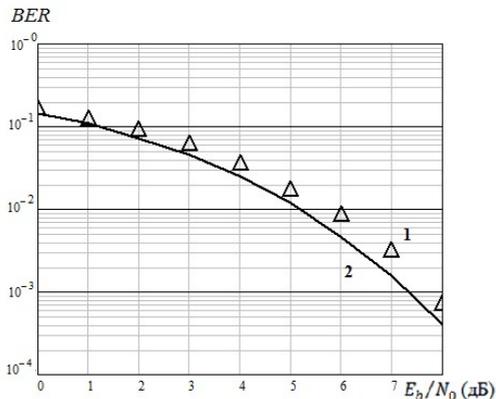


Рис. 1. Зависимость вероятности битовой ошибки от E_b/N_0 сигнала 2ОФМ с ПРЧ: 1 — BER, некогерентная схема (моделирование); 2 — P_b , когерентная схема (теория)

Показано, что полученный график $\text{BER}(E_b/N_0)$ практически совпал с теоретической зависимостью вероятности P_b битовой ошибки, рассчитанной по формуле

$$P_b = 2Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)\left[1 - Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)\right], \quad (1)$$

где функция $Q(x)$ определена в [2].

Литература

1. **Варакин Л.Е.** Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Радио и связь, 1985.
2. **Феер К.** Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра. М.: Радио и связь, 2000.

УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ С АДАПТИВНОЙ КОРРЕКЦИЕЙ КОМПЛЕКСНОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ

Для линеаризации характеристики усилителя мощности (УМ) наиболее простой и эффективной является технология ввода предсказаний, когда входной сигнал корректируется в корректоре (линеаризаторе), а затем усиливается нелинейным УМ. Характеристика линеаризатора должна быть обратной характеристике нелинейного усилителя. При этом искажения сигнала компенсируются, и на выходе УМ с коррекцией получается линейно усиленный входной сигнал без искажений. Более простым и технически реализуемым является алгоритм работы обучающей системы, который позволяет определять параметры любой выбранной модели линеаризатора при уходах характеристик УМ в процессе работы.

Автор использовал адаптивный цифровой предсказывающий линеаризатор (ЦПЛ) для линеаризации характеристик нелинейного инерционного СВЧ УМ радиосигнала. Адаптивные алгоритмы коррекции построены на основе поведенческой модели с использованием рядов Вольтерра для

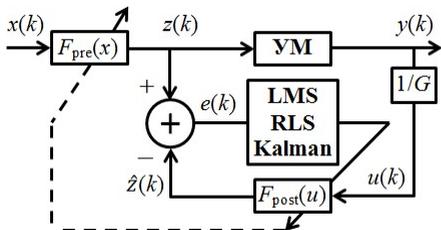


Рис. 1. Схема адаптивного ЦПЛ и УМ при обратной архитектуре обучения

схемы с обратной архитектурой обучения. Алгоритм реализован на основе пяти методов: наименьших квадратов (LMS), нормированного LMS (NLMS), рекурсивного метода наименьших квадратов (RLS), RLS с экспоненциальным забыванием (RLS-Lambda) и Калмана (Kalman).

Схема обратной архитектуры обучения для расчета модели корректора показана на рис. 1, где $F_{pre}(x)$ — комплексная передаточная характеристика корректора; $F_{post}(u)$ — копия модели корректора; $z(k)$ — отсчеты входного сигнала УМ; $y(k)$ — отсчеты выходного сигнала УМ; $\hat{z}(k)$ — оценка входного сигнала УМ; $e(k)$ — сигнал ошибки; G — коэффициент передачи УМ в малосигнальном режиме.

Автором показано, что при усилении сигнала в УМ с ЦПЛ уменьшается мощность комбинационных составляющих и компонент спектра выходного сигнала вне главного лепестка на 15—30 дБ, устраняется неконтролируемый фазовый сдвиг сигнала, повышается энергетическая эффективность системы: выигрыш в отношении сигнал-шум на входе демодулятора приемника цифрового сигнала составляет 7—9 дБ по сравнению с той же системой в отсутствие ЦПЛ.

АЛГОРИТМ ВЫБОРА НЕРАВНОМЕРНОЙ РАССТАНОВКИ ЧАСТОТ СИГНАЛОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С МДЧР

Усилители мощности (УМ) на лампах бегущей волны, используемые в передатчиках спутников-ретрансляторов, имеют нелинейную амплитудную характеристику и неравномерную фазоамплитудную характеристику. Эта комплексная нелинейность приводит к появлению в спектре выходного сигнала усилителя составляющих на комбинационных частотах – интермодуляционных (ИМ) помех. При МДЧР интермодуляционные компоненты существенно «загрязняют» спектр группового сигнала на выходе УМ. Когда ИМ составляющие попадают в главный лепесток спектра сигнала, существенно искажается сигнал и ухудшается достоверность его приема.

Рассмотрена задача выбора расстановок частот сигналов, при которых уменьшается влияние ИМ помех на вероятность битовой ошибки на выходе демодулятора приемника земной станции при прямой ретрансляции. Проведен расчет частот сигналов с учетом непопадания в главные лепестки их спектров наиболее интенсивных ИМ составляющих 3-го и 5-го порядков.

На рис. 1 схематично изображена полоса ствола ретранслятора. Вблизи центральных частот спектров сигналов выделены интервалы шириной R (R — скорость передачи), которые определяют область частот, занимаемую главным лепестком их спектра. Интермодуляционные компоненты располагаются как за пределами полосы ствола, так и внутри нее, причем наиболее опасный случай — это попадание их в главный лепесток спектра сигнала.



Рис. 1. Расположение спектров полезных сигналов и ИМ помех в полосе частот ствола РТР

Расчет числа комбинационных компонент проводился с помощью разработанной автором программы, выполняющей перебор возможных значений частот ИМ компонент и отсеивающий частоты, не попадающие в полосу ствола ретранслятора.

Показано, что при использовании неравномерной, специально подобранной расстановки частот сигналов, одновременно усиливаемых в бортовом нелинейном УМ при прямой ретрансляции, можно существенно улучшить качество приема каждого сигнала и достичь меньших значений вероятностей ошибок в приемнике, чем при равномерной расстановке. Можно использовать существенно нелинейный режим УМ РТР, если на входе приемника земной станции отношение сигнал-шум достаточно велико ($E_b/N_0 > 8$ дБ) и коэффициент амплитудно-фазовой конверсии УМ РТР, не превышает $6^\circ/\text{дБ}$.

*Г.А. Ожиганов, А.Ф. Стефаниди, студенты;
рук. В.В. Хрящев, к.т.н., доц. (ЯрГУ им. П.Г. Демидова, г. Ярославль)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТРИК КАЧЕСТВА

На сегодняшний день сфера цифровой обработки изображений активно развивается, поэтому предъявляются более высокие требования к методам и алгоритмам, использующимся в практических приложениях. Рассмотрим такую область, как сжатие изображений, а именно различные алгоритмы сжатия. Бывший долгое время международным стандарт JPEG сейчас уходит на второй план, и на смену ему приходит JPEG2000 [1].

В различных областях предъявляются различные требования к сжатию изображений. В данной работе мы исследуем, в каких условиях оправдано использование того или иного алгоритма. Основными параметрами компрессированного изображения являются степень сжатия, прямо влияющая на размер изображения, и качество изображения. Качество изображения оценивают эталонные и неэталонные метрики. Первые анализируют сжатое изображение, сравнивая его с оригинальным.

К эталонным метрикам относятся: пиковое отношение сигнала к шуму, индекс структурного сходства, коэффициент структурного подобия. Неэталонным алгоритмам для работы исходное изображение не требуется. К ним относятся неэталонная метрика блочности и неэталонная метрика размытия.

Исследование заключается в обработке одного и того же изображения с помощью алгоритмов JPEG и JPEG2000 и сравнении некоторого набора метрик обоих изображений. Вот некоторые результаты, полученные в ходе исследований:

- при двадцати-тридцатикратном сжатии JPEG2000 и JPEG дают приблизительно одинаковое качество;
- при большем сжатии качество JPEG2000 существенно выше, чем у JPEG, что позволяет без особых потерь сжимать изображение до 50 раз;
- при больших степенях компрессии в тех областях, где происходит плавное изменение цвета, изображение не приобретает характерную для обычного JPEG блочную структуру. JPEG2000 также не сколько размазывает и закругляет острые контуры.

Литература

1. Дворкович В.П., Дворкович А.В. Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика). М.: Техносфера, 2012. 1009 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА АНСАМБЛЕЙ ПСП БОЛЬШОГО ОБЪЕМА

Одновременная работа множества каналов связи через одну базовую станцию осуществляется при помощи многостанционного доступа с кодовым разделением сигналов (МДКР). Разделение псевдод шумовых сигналов (ПШС) в системах МДКР осуществляется так, что каждому ПШС присваивается своя форма ПСП. Важной проблемой систем МДКР является обеспечение качества связи. Значения показателей качества ансамблей применяемых ПСП – максимумов модулей корреляционных характеристик – должны ограничиваться расчетными значениями.

Для ПСП Голда, Касами, Лежандра и Холла в литературе [1—4] приведены только некоторые ограничения корреляционных характеристик. По результатам сравнительного анализа всех корреляционных характеристик этих ПСП периода $N = 2^n - 1$ автором получены новые выражения для граничных значений корреляционных функций:

Апериодическая автокорреляционная функция (ААКФ) ПСП Голда:

$$(R_{\text{ААКФ}}^i)_{\max} \leq \frac{n^2}{N}. \quad (1)$$

1) ААКФ ПСП Касами:

$$(R_{\text{ААКФ}}^i)_{\max} \leq \frac{2^{n-4} + n - 1}{N}. \quad (2)$$

2) Периодическая автокорреляционная функция ПСП Лежандра:

$$(R_{\text{ПАКФ}}^i)_{\max} \leq 2\sqrt{p} + 1_x, \quad (3)$$

где значения p определены в [4].

3) Взаимокорреляционная функция ПСП Холла:

$$(R_{\text{ВКФ}}^{i,j})_{\max} \leq 2\sqrt{p}. \quad (4)$$

Автором рассчитаны корреляционные характеристики ПСП Голда, Касами, Лежандра, Холла и приведены ограничения, ранее отсутствующие в литературе.

Литература

1. **Gold R.** Optimal binary sequences for spread spectrum multiplexing // IEEE Trans. Inform. Theory. 1967. Vol. 13. P. 619—621.
2. **Xiang Q.** On balanced binary sequences with two-level autocorrelation functions // IEEE Trans. Inform. Theory. 1998. Vol. 44. No 7. P. 975—986.
3. **Hall M.** A Survey of Difference Sets // Proc. Am. Math. Soc. 1956. Vol. 7. P. 975—986.
4. **Калмыков В.В., Юдачев С.С.** Ансамбли составных кодовых последовательностей // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». 1994. № 4. С. 101—106.

СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ПСП ЛЕЖАНДРА

При разработке широкополосных систем связи с использованием новых структур сигналов, формируемых с применением расширяющих спектр ПСП Лежандра, может возникнуть необходимость в формировании этих ПСП способом, доступным каждому инженеру-разработчику.

Алгоритм формирования ПСП Лежандра приведен в литературе [1] и построен с помощью математического аппарата полей Галуа, причем язык изложения достаточно сложен. В докладе приводится способ формирования ПСП Лежандра, отсутствующий в литературе и доступный в использовании. Предложен следующий алгоритм формирования:

1) выбор произвольного простого числа p , определяющего период первой $\lambda_1 = \{t_{1,1}, t_{1,2}, \dots, t_{1,p}\}$ и произвольной $\lambda_l = \{t_{l,1}, t_{l,2}, \dots, t_{l,N}\}$ последовательностей из набора L ;

2) запись множества натуральных чисел $X = \{1, 2, \dots, x_j, \dots, p\}$, не превосходящих p ;

3) последовательный выбор из набора X чисел x_j , $j = \overline{1, p}$ и проверка для каждого x_j существования произвольного целого числа α , удовлетворяющего условию

$$x_j = \alpha^2 \pmod{p}; \quad (1)$$

4) если для x_j решение (1) существует и найдено α , удовлетворяющее (1), то считаем, что j -й символ $t_{1,j}$ первой последовательности Лежандра $\lambda_1 = \{t_{1,1}, t_{1,2}, \dots, t_{1,N}\}$ принимает значение $(+1)$. Если решения (1) не существует, то $t_{1,j}$ принимает значение (-1) :

Иными словами, построение ПСП Лежандра $\lambda_1 = \{t_{1,1}, t_{1,2}, \dots, t_{1,N}\}$ проводится путем установления соответствия каждому x_j символов (± 1) таким образом, что:

$$t_{1,j} = \begin{cases} +1, & \text{если решение (1) существует} \\ -1, & \text{если решение (1) не существует;} \end{cases} \quad (2)$$

5) построение произвольной ПСП Лежандра $\lambda_l = \{t_{l,1}, t_{l,2}, \dots, t_{l,N}\}$ из набора $L = \{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_K\}$ проводится путем циклического смещения последовательности λ_1 на $s = (l - 1)$ символов вправо:

$$\begin{aligned} t_{l,1} &= t_{1,(1+s)}, \\ t_{l,2} &= t_{1,(2+s)}, \\ &\dots \\ t_{l,N} &= t_{1,(3+s)}, \end{aligned} \tag{3}$$

где $l = 1, 2, \dots, N$, $a_{i,j} = \pm 1, h_{i,(j+l)} = \pm 1$.

Литература

1. **Ипатов В.П.** Широкополосные сигналы. Wiley, 2004. С. 373.

Секция 8

КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Председатель секции — к.т.н., доцент Н.М. Скорнякова

Секретарь секции — аспирант Д.Г. Сычёв

Аунг Мью Вин, асп.; рук. Б.С. Ринкевичюс, д.ф-м.н., проф.
(НИУ «МЭИ»)

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Измерения основаны на компьютерной обработке цифровых изображений тени объекта на фоне структурированного оптического излучения, получаемого с помощью дифракционных оптических элементов (ДОЭ) на экране [1,2]. Для визуализации деформации проволоки была разработана экспериментальная установка, представленная на рис. 1.

Излучение от лазерного модуля 1 проходит через дифракционный элемент 2, преобразуется объективом 3 и освещает проволоку 4. Результат визуализации отображается на экране 5 и регистрируется с помощью цифрового фотоаппарата 6.

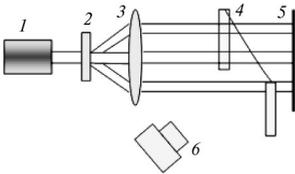


Рис. 1. Принципиальная схема

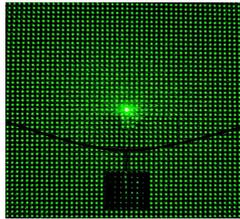


Рис. 2. Изображение проволоки на экране при нагрузке

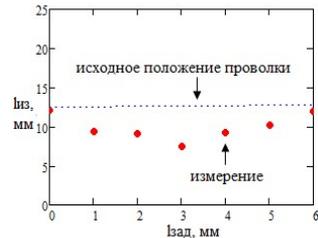


Рис. 3. Результаты измерений прогиба проволоки

В установке применяется полупроводниковый лазерный модуль мощностью 5 мВт. Длина волны излучения равна 0,532 мкм. Объектив 3 имеет фокусное расстояние 400 мм. На рис. 2 показано экспериментальное изображение на экране 5. Для визуализации положения проволоки на фоне экрана использовалось структурированное излучение в виде сетки.

В результате обработки получено расстояние между исходным положением проволоки и положением при нагрузке. На рис. 3 показаны результаты измерений прогиба проволоки под нагрузкой.

Литература

1. **Евтихьева О.А., Расковская И.Л., Ринкевичюс Б.С.** Основы лазерной рефрактографии: учебное пособие. М.: Издательство МЭИ, 2012. 84 с.
2. **Карпов А.В., Вин А.М., Ринкевичюс Б.С.** Оптический метод визуализации и измерения смещения трехмерных объектов // Оптические методы исследования потоков: Труды XIII Международной научно-технической конференции. [Электронный ресурс]. URL: М. Издательство «Перо», 2015. 595 с. 1 CD-ROM (163 Мб).

ВЛИЯНИЕ НАЛИЧИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ТОЧНОСТЬ РАБОТЫ ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ

Явление турбулентности в аэродинамике заключается в том, что атмосферные процессы, например трение воздушного потока о какую-либо поверхность и образование вследствие этого градиента скоростей потока, приводят к образованию вихрей [1]. Таким образом, среда приобретает



Рис. 1. Пример получаемого турбулентного потока (инвертированное изображение)

неоднородности по температуре, давлению и соответственно коэффициенту преломления, что не всегда является положительным фактором. Например, при применении оптических методов для диагностики протекающего процесса, при наличии паразитного турбулентного потока, в результате можно получить совершенно некорректные результаты. Иными словами, теряется точность результатов оптического метода.

Изменение показателя преломления среды в той или иной мере воздействует почти на все существующие ныне оптические методы диагностики потоков, такие как теневой фоновый метод, метод корреляции фоновых изображений, анемометрия по изображениям частиц, лазерная доплеровская анемометрия и т.д. [2].

Будут показаны разработанные модели лабораторной турбулентности и экспериментальные данные увеличения погрешности результатов оптических методов при наличии турбулентности. Данное исследование также может быть применено для разработки систем обнаружения турбулентностей в различных средах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 16-07-01256 А).

Литература

1. Зуев В.Е., Банах В.А., Покасов В.В. Современные проблемы атмосферной оптики. В 9 т. Т. 5. Оптика турбулентной атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1988.
2. **Современные** оптические методы исследования потоков: Коллективная монография / под ред. Б.С. Ринкевичюса. М.: Оверлей, 2011. 360 с.

Е.А. Вагапова, студ.; рук. О.К. Алимов к.ф.-м.н.
(НИУ «МЭИ»), (ИОФ РАН)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛОВ $\text{CaF}_2:\text{YF}_3:0,1\text{вес}\%\text{TmF}_3$ МЕТОДАМИ СЕЛЕКТИВНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

В данной работе исследовались спектроскопические свойства ионов тулия в кристаллах фторида кальция и твердых растворах $\text{CaF}_2:\text{YF}_3:0,1\text{вес}\%\text{TmF}_3$ (концентрация фторида иттрия 3вес.%, 4вес.%, 5вес.%). Выбор данных кристаллов обусловлен их использованием в лазерах, работающих в области двух микрон (переход ${}^3\text{F}_4 \rightarrow {}^3\text{H}_6$). Излучение диапазона 2 мкм находит широкое применение в лазерной хирургии, экологическом мониторинге состава атмосферы и других областях науки и техники. Особенностью фторидных кристаллов является формирование в них различных типов оптических центров (от одиночных до различных кластеризованных центров) с ионами P^{3+} и, как правило, с компенсацией избытка заряда активатора междоузельными ионами фтора [1,2]. Следовательно, спектрально-генерационные характеристики фторидов, легированных ионами Tm^{3+} , сильно зависят от типа оптических центров и матрицы, используемой в качестве активного элемента.

Для получения информации о спектрально-кинетических характеристиках оптических центров ионов тулия был использован метод селективного лазерного возбуждения. Он основан на возбуждении в полосу поглощения (${}^3\text{H}_6 \rightarrow {}^3\text{H}_5$) отдельных групп оптических центров ионов тулия узкополосным излучением параметрического лазера (ОРО Solar Systems). Измерение кинетики затухания и спектров люминесценции проводилось на монохроматоре МДР-23. Регистрация 2-мкм излучения осуществлялась фотосопротивлением PbS, сигнал с которого поступал на цифровой осциллограф Tektronix, сопряженный с компьютером.

На основании спектрально-кинетических исследований кристаллов $\text{CaF}_2:\text{YF}_3:0,1\text{вес}\%\text{TmF}_3$ были сделаны выводы о существовании трех типов оптических центров ионов тулия: кластеризованный низкосимметричный центр, кластеризованный Y-Tm центр со свойствами, близкими к тетрагональному центру, что и в кристалле CaF_2 , высокосимметричный долгоживущий центр с тетрагональным локальным окружением ионов Tm^{3+} . Проведена оценка времен жизни этих центров, которые соответственно равны $\tau_1 \sim 5$ мс, $\tau_2 \sim 15$ мс, $\tau_3 \sim 170$ мс.

Литература

1. Strickland N., Jones G.D. // Phys. Rev. B, **56**, 10916 (1997).
2. J. of Lumin / О.К. Алимов, М.Е. Doroshenko, V.A. Konyushkin et al., 167, 16 (2015).

ПОСТРОЕНИЕ ИНДИКАТРИСЫ РАССЕЯНИЯ

При оптической диагностике потоков важно знать индикатрису рассеивания зондирующего излучения на частицах. Это поможет предсказать интенсивность рассеянного излучения в направлении регистрации и в дальнейшем правильно обработать полученные изображения. Законы рассеивания излучения частицами необходимо знать как при выборе светорассеивающих частиц для визуализации потока, так и при расчете и конструировании оптических приборов, предназначенных для исследования потоков с заданными характеристиками частиц. С появлением новых программных продуктов, повышением быстродействия компьютеров, изменением требований к точности расчетов возникла необходимость создания новых программ для расчета амплитудных функций рассеивания в наиболее распространенных программных средах.

Разработанная и протестированная в среде MathCad программа позволяет: рассчитывать амплитудные функции рассеивания; значения локальных и глобальных максимумов интенсивности рассеянного излучения и поляризации; находить численные значения коэффициентов рассеянного поля; строить в декартовых и полярных координатах следующие графические зависимости: угловую зависимость изменения поляризации при падении неполяризованного излучения, индикатрисы рассеивания для падающего света, линейно поляризованного в направлении: параллельном плоскости рассеивания и перпендикулярном плоскости рассеивания (рис. 1).

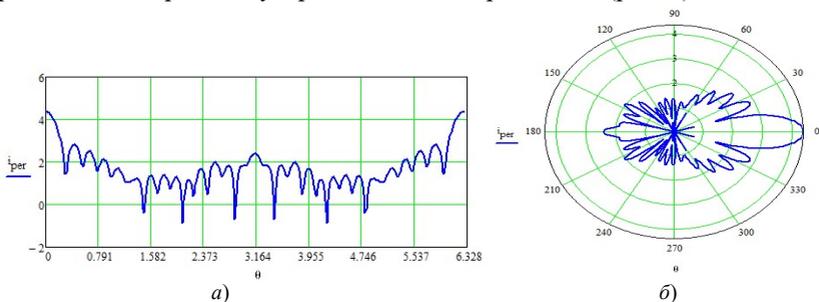


Рис. 1. Графические зависимости: *a* — логарифмическая зависимость рассеянной интенсивности от угла рассеивания в декартовых координатах; *б* — логарифмическая зависимость рассеянной интенсивности от угла рассеивания в полярных координатах при условии, что падающий свет поляризован в направлении, перпендикулярном плоскости рассеивания

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ НАРАБОТКИ НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ

В настоящее время лазерные диоды широко используются в различных устройствах и комплексах. При этом они являются приборами, требующими постоянного контроля и своевременной замены. Значительной проблемой является определение срока эксплуатации лазерного диода, после которого он начнет терять необходимое для работы качество. Изучение спектральных характеристик лазерного излучения является одним из способов, позволяющих анализировать деградацию лазерного диода. С этой точки зрения представляет интерес как анализ спектра лазера, уже имеющего значительное время наработки, так и анализ спектров, соответствующих первым часам работы лазеров, а также их сравнение. Это позволяет изучить механизм деградации гетероструктуры лазеров и предполагать возможное изменение лазерного излучения в дальнейшем на основании получаемых данных.

В данном исследовании были изучены спектральные характеристики лазеров, имеющих различное время наработки. В работе использовались экспериментальный модуль лазерного диода с драйвером LDD-10, излучение которого изначально было одноканальным, но со временем вследствие деградации разделилось на несколько каналов генерации, и лазерные модули инфракрасного излучения KLM-N980-120-5, которые ранее не использовались.

Для проведения экспериментальных исследований, необходимых в рамках данной работы, были использованы уже существующие и закрепленные в [1] методики измерения.

По результатам исследования для лазера с большой (540 часов) наработкой можно сделать следующие выводы:

- возрастание числа отдельных пиков спектральной характеристики отражает факт увеличения числа каналов излучения и переход режима генерации с одномодового на многомодовый;
- временные интервалы, через которые наблюдалось указанное изменение вида спектральной характеристики, не превышали 15—20 часов, что позволяет использовать это явление как один из признаков деградации структуры лазерного диода.

Литература

1. **ГОСТ Р ИСО 13695–2010.** Оптика и фотоника. Лазеры и лазерные установки (системы). Методы измерений спектральных характеристик лазеров. М. Стандартинформ, 2011.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ИОНОВ ГОЛЬМИЯ В КРИСТАЛЛЕ YSGG

В наше время твердотельные лазеры, работающие в спектральной области от 1,5 до 3 мкм, находят широкое практическое применение в медицине и биологии. Для создания таких лазеров используются кристаллы, активированные ионами Ho^{3+} . Генерация ионов гольмия на оптическом переходе ${}^5\text{I}_7 \rightarrow {}^5\text{I}_8$ позволяет получить двухмикронное излучение. В работе [1] были экспериментально измерены времена жизни некоторых уровней иона Ho^{3+} в кристалле $\text{Ho}^{3+}:\text{YSGG}$. Время жизни уровня ${}^5\text{I}_7$ составило 10 мс, что позволяет данному уровню работать в качестве метастабильного, для создания лазеров двухмикронного диапазона. В работе [2] был продемонстрирован лазер на кристалле YSGG, соактивированном ионами Ho^{3+} , Yb^{3+} и Cr^{3+} с ламповым возбуждением, работавший на оптическом переходе ${}^5\text{I}_6 \rightarrow {}^5\text{I}_7$ в области 2,84—3,05 мкм. Время жизни возбуждения на уровне ${}^5\text{I}_6$ в ионах Ho^{3+} в кристалле $\text{Ho}^{3+}\text{Yb}^{3+}\text{Cr}^{3+}:\text{YSGG}$ составляет 470 мкс. В этом случае генерация может наблюдаться только в импульсном режиме до тех пор, пока не сравняются населенности уровней ${}^5\text{I}_6$ и ${}^5\text{I}_7$.

Целью работы была оценка возможности получения лазерной генерации на переходах ${}^5\text{I}_6 \rightarrow {}^5\text{I}_7$, ${}^5\text{I}_7 \rightarrow {}^5\text{I}_8$ в ионах Ho^{3+} в кристалле $\text{Ho}^{3+}\text{Yb}^{3+}\text{Cr}^{3+}:\text{YSGG}$ при накачке наносекундными импульсами лазерного излучения на переходе ${}^5\text{I}_8 \rightarrow {}^5\text{I}_6$. В работе рассматривалась продольная схема возбуждения. В качестве источника возбуждения использовалось излучение лазера на кристалле LiF с F_2^- центрами окраски с длиной волны генерации 1,14—1,15 мкм с накачкой Nd:YAG лазером [3]. Энергия импульсов излучения равнялась 30 мДж при длительности импульсов 25 нс и частоте следования импульсов 5 Гц. Оценка спектрально-люминесцентных характеристик проводилась с помощью теории Джадда—Офельта, компьютерное моделирование лазерной генерации проводилось в программе MathCad.

Литература

1. **Spectroscopy** and diode-pumped laser oscillation of Yb^{3+} , Ho^{3+} -doped yttrium scandium gallium garnet / A. Dening et al. // Journal of applied physics. 2000. Vol. 87. No 9.
2. **Эффективный** лазер трехмикронного диапазона на кристалле $\text{Ho}^{3+}\text{Yb}^{3+}\text{Cr}^{3+}:\text{YSGG}$ / А.Ф. Умысков и др. // Квантовая электроника. 1996. Т. 23. № 9.
3. **Временные** и спектральные характеристики перестраиваемого лазера на кристалле LiF с F_2^- центрами окраски / Т.Т. Басиев и др. // Квантовая электроника. 1997. Т. 24. № 7.

И.А. Корсаков, студ.; рук. П.Г. Зверев, д.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СИНТЕЗ СТЕКОЛ СИСТЕМЫ $\text{SnO—GeO}_2\text{—SiO}_2$ И ИХ СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Современное развитие информационных и коммуникационных технологий требует расширения возможной полосы перестройки волоконных лазеров и усилителей. Одним из новых быстро развивающихся классов материалов для перестраиваемых в ближней ИК области широкополосных волоконных лазеров и усилителей являются легированные висмутом стекла. Однако прогресс в этой области сдерживается недостаточным пониманием природы висмутовых люминесцирующих центров и механизмов влияния состава стекла на их свойства. Поэтому представляет интерес поиск и исследование новых активаторов – аналогов висмута. Обнаружена и описана фотолюминесценция в кварцевых и кварц-германатных стеклах со свинцом; недавно было обнаружено, что синтезированное в восстановительных условиях силикатное стекло с оловом также демонстрирует длительную (~100 мкс) широкополосную ИК люминесценцию [1].

Понимание явления стеклообразования важно по целому ряду причин. Во-первых, с научной точки зрения необходимо точно понять химические, структурные и другие факторы, определяющие пределы, в которых материал существует в стеклообразном или кристаллическом состоянии. Во-вторых, эта проблема имеет практическое назначение.

Была разработана лабораторная методика синтеза стекол системы $\text{SnO—GeO}_2\text{—SiO}_2$ [2]. Выявлены особенности технологии синтеза стекол с закисным оловом. Получены образцы для исследований и снятие их спектров пропускания, а также спектров люминесценции центров и их кинетик.

Изготовлен оптический волновод по методикам *powder-in-tube* и *rod-in-tube* [3]. Получены соотношения распределения состава по оптическому световоду.

Литература

1. **Tin germinate** glasses / D. Holland, M. Smith, I. Poplett et al. // *J. Of Non-Cryst. Solids*. 2001. P. 293—295.
2. **Abd Karim, Mohd Mustamam**. A study of tin oxides in silicate based glasses // PhD thesis, University of Warwick. 1995.
3. **Quantum** Electronics / A. Zlenko, S. Firstov, K. Riumkin et al. // *Quantum Electronics*. 2012.

ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВОЙ РЕГИСТРАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В настоящее время в оптико-электронных приборах промышленного и медицинского назначения, системах безопасности регистрация данных происходит при помощи цифровых фото- и видеокамер. Важно быть уверенными в правильности полученных данных, так как они могут отличаться от теоретических моделей, а тем более от реальных картин. Для метрологической обоснованности результатов требуется выявить эти различия и разработать алгоритмы их учета или устранения.

В докладе будет показано влияние параметров регистрации на получаемые картины оптических методов исследования. В экспериментальных исследованиях варьировались такие параметры, как время экспозиции, диаметр апертурной диафрагмы, светочувствительность матрицы. Будут представлены изображения дифракционных картин от различных препятствий (рис. 1), зависимости интенсивностей от параметров камеры, а также сравнение экспериментальных данных с теоретическими моделями (рис. 2).

Наглядно продемонстрировано влияние сжатия изображения на его качество. Показано, что увеличение коэффициента сжатия приводит к появлению множества артефактов. Для проведения научных исследований необходимо использовать несжатые изображения.



Рис. 1. Дифракционная картина (инвертированная)

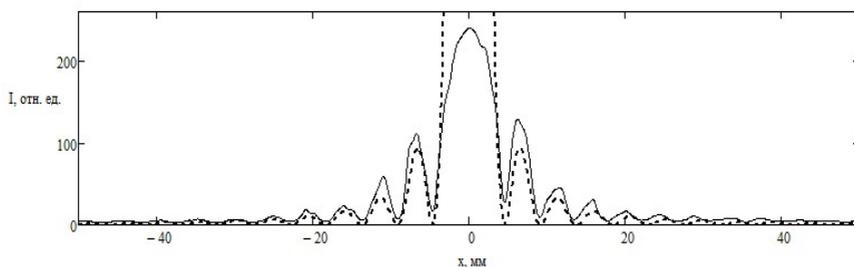


Рис. 2. Смоделированное (штриховая линия) и экспериментальное (сплошная линия) сечения ДК на щели

В результате работы показано, что для исследования статичных картин с низкой интенсивностью необходимо большое время выдержки (от 0,3 с). Для надежной визуализации оптических явлений необходимо использовать значения светочувствительности (ISO) от 400 и больше. Допускается использовать и малые значения ISO при регистрации картин с большим временем выдержки.

Анализ влияния размера апертурной диафрагмы на качество регистрируемой картины показывает, что необходимо использовать максимально возможный размер (при условии отсутствия засветки).

О.В. Печинская, асп.; рук. Н.М. Скорнякова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЗАИМНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ОСЕЙ ОБЪЕКТИВА И МАТРИЦЫ ВИДЕОКАМЕРЫ НА ГЛУБИНУ РЕЗКО ИЗОБРАЖАЕМОГО ПРОСТРАНСТВА

При регистрации изображений плоских протяженных наклонных объектов качество изображения ухудшается по полю зрения от центра к краю за счет выхода объекта за пределы резко изображаемого пространства.

Для повышения качества изображения в таких случаях прибегают к установке дополнительных оптических систем [1], использованию нестандартных фоновых картин, что решает проблему лишь частично [2].

Применение адаптера Шаймпфлюга в системах регистрации изображений позволяет увеличить глубину резко изображаемого пространства.

Исследование заключается в установлении зависимости изменения глубины резко изображаемого пространства в зависимости от угла наклона плоскости предмета и положения плоскости наведения при наблюдении наклонных объектов оптическими системами с адаптером Шаймпфлюга.

Величина глубины резко изображаемого пространства в таких системах определяется соотношением [3]

$$\Delta = 2D \frac{\delta'}{\beta} \left(\frac{1}{\operatorname{tg}\theta} + \frac{1}{\operatorname{tg}\psi} \right) A;$$

для классических оптических систем [4]

$$\Delta = \frac{2AD\delta'\beta}{D^2\beta^2 - \delta'^2},$$

где θ , ψ — углы наклона объектива и предмета; A — положение плоскости наведения; D , β — диаметр входного зрачка и увеличение объектива; δ' — допустимый кружок рассеяния.

Прорабатывается методика экспериментальной оценки изменения глубины резко изображаемого пространства.

Литература

1. **Boden F., Jentink H., Petit C.** IPCT wing deformation measurements on a large transport aircraft. Advanced in-flight measurements techniques, Research topics in aerospace, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013.

2. **Assessment** of IPCT for wing deformation measurements on a small aircraft. Advanced in-flight measurements techniques, Research topics in aerospace / P. Ruzicka, J. Rydel, M. Josefik, F. Boden. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.

3. **Merklinger H.M.** Focusing the view camera. Published by the author: Harold M. Merklinger. Vol. 1.0 1 March 1993.

4. **Апенко М.И., Запрыгаева Л.А., Свешникова И.С.** Задачник по прикладной оптике. М.: Высшая школа, 2003.

ВЛИЯНИЕ ПОЛОГО СТЕКЛЯННОГО ЦИЛИНДРА НА РЕЗУЛЬТАТЫ ДИАГНОСТИКИ ПОТОКОВ

В настоящее время во многих имитационных и испытательных стендах для исследования потоков жидкости и газа используются стеклянные сосуды цилиндрической формы. Для исследования неоднородных сред, находящихся в таких емкостях, с помощью оптических методов может, например, использоваться метод лазерной рефрактографии [1] с использованием структурированного лазерного излучения (СЛИ), представляющего собой лазерную плоскость.

Поскольку в большинстве случаев емкости для исследования изготавливаются из стекла, необходимо исследовать влияние не только неоднородной среды, но и стенок стеклянного сосуда цилиндрической формы на процесс распространения лазерного излучения.

В работе была проведена попытка оценить влияние стенок сосуда на профили лазерного излучения. Было исследовано влияние полого стеклянного цилиндра на лазерную плоскость для разных случаев ее распространения в пространстве, а также при наличии различных неоднородностей внутри цилиндра (рис. 1).

Различные комбинации, расположение и ориентация лазерной плоскости позволяют подобрать измерительную систему к исследуемой структуре неоднородности. Дискретный характер СЛИ оптимально соответствует современным методам регистрации и обработки изображений, что позволяет с высокой точностью проводить количественную диагностику стационарной и нестационарных сред.

В практических задачах, в которых необходимо сделать вывод об исследуемой среде, сравниваются профили исходной лазерной плоскости с профилем после прохождения неоднородности, и тогда можно сделать вывод о характере исследуемой среды.

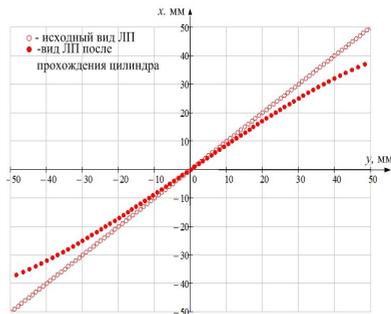


Рис. 1. Вид наклонной лазерной плоскости на экране после прохождения цилиндра

Литература

1. Евтихиева О.А., Расковская И.Л., Ринкевичюс Б.С. Лазерная рефрактография. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 176 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ТЕНИ В ТЕНЕВОЙ АНЕМОМЕТРИИ ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ ЧАСТИЦ

Теневая анемометрия по изображениям частиц является одним из новых методов для измерения малых скоростей потока. Несмотря на его практическое применение, теория метода еще до конца не изучена.

Схема экспериментальной установки состоит из источника света, в качестве которого использовался светодиодный прожектор; объекта исследования, в котором присутствуют пузырьки воздуха в воде, полученные в результате электролиза; регистрации проводится на цифровой фотоаппарат в режиме видеосъемки (рис. 1).

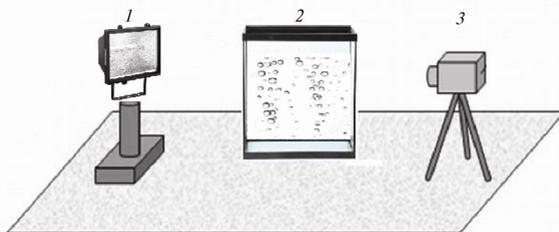


Рис. 1. Схема установки: 1 — источник света; 2 — аквариум с движущимися пузырьками воздуха; 3 — цифровая видеокамера

С помощью компьютерного моделирования выяснено влияние на размер тени таких параметров, как угол расходимости пучка α , диаметр исследуемого объекта d , расстояние между источником и исследуемым объектом L_1 и расстояние между объектом и экраном L_2 . Полученные зависимости приведены на рис. 2.

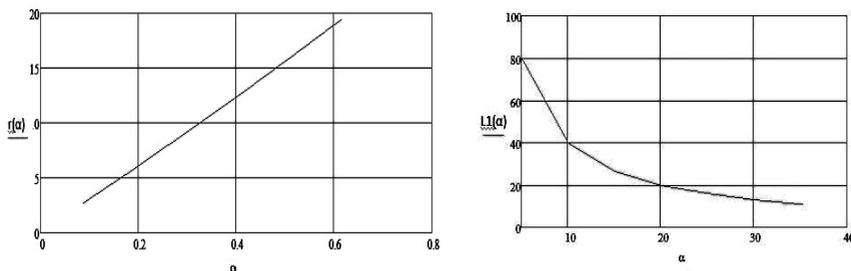


Рис. 2. Зависимости радиуса тени $r_{\text{тени}}$ от угла расходимости пучка α при соответствующем расстоянии L_1

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕФРАКЦИИ ПЛОСКОГО ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА ОКОЛО НАГРЕТОГО ШАРА

Визуализация динамики тепловых процессов в жидкости основана на зондировании среды структурированным излучением, получаемым с помощью дифракционных оптических элементов (ДОО). В работе изучается рефракция лазерной плоскости, проходящей около нагретого шара, помещенного в жидкость. Рефрактограмма представляет собой изображение искаженной лазерной плоскости на экране, а ее параметры зависят от градиента температуры жидкости в пограничном слое около нагретого тела. Рефрактограммы регистрируются цифровым фотоаппаратом и обрабатываются с помощью компьютера [1].

Схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Плоское структурированное излучение от источника 1, который установлен на координатном позиционере 2, направляется на кювету с водой 3 и распространяется внутри нее около нагретого шара 4, закрепленного на подвесе 5. На экране 6 наблюдается рефрактограмма, которая регистрируется цифровым фотоприемником 7.

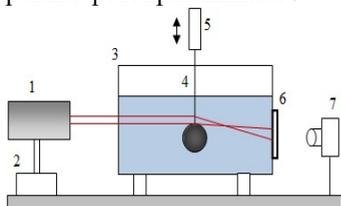


Рис. 1. Схема измерительной системы

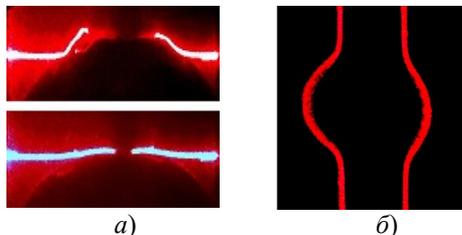


Рис. 2. Изображения рефрактограмм нагретого шара: сверху (а) и сбоку (б)

В установке используется полупроводниковый лазер с длиной волны 0,53 мкм и мощностью 5 мВт. Расстояние от шара до экрана 18 см. Шар нагревается до температуры 50 °С и погружается в кювету с водой. Температура шара измеряется при помощи термопары. На рис. 2 показаны экспериментальные рефрактограммы, полученные при различных положениях лазерной плоскости.

Литература

1. Евтихиева О.А., Расковская И.Л., Ринкевичюс Б.С. Основы лазерной рефрактографии: учебное пособие. М.: Издательство МЭИ, 2012. 84 с.

А.С. Суслин, студ.; рук. А.Ю. Поройков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕДИАННОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ АППАРАТНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В настоящее время, когда сложность и объемы цифровой информации возрастают, появляется все большее разнообразие алгоритмов и методов обработки данных, используемых вычислительными системами. Преследуемые цели при этом достаточно различны. К ним можно отнести и упрощение восприятия конечной информации человеком, и приведение ее в более подходящий вид для дальнейшего автоматического анализа.

Однако при решении ряда задач, например потоковой обработки в реальном времени, персональные компьютеры не всегда могут предоставить необходимую скорость работы [1], а в некоторых случаях при реализации автономных и компактных систем и вовсе нет возможности их использовать. В связи с этим идея использования интегральных схем программируемой логики (ПЛИС) для решения различного спектра задач становится актуальной за счет возможности параллельных вычислений [2], организации конвейерных архитектур и реализации концепции «система на кристалле» [3].

В работе предложена модернизация медианного фильтра классического вида для обработки цифровых изображений. Алгоритм успешно реализован автором на языке Verilog и показал улучшенные ресурсные и временные характеристики в сравнении с классическим фильтром. Работоспособность разработанной архитектуры подтверждена путем функциональной симуляции в среде ModelSim. Приведены результаты обработки тестовых изображений разработанным алгоритмом.

Литература

1. **Заливин А.Н., Зувев И.В.** Использование производительных ПЛИС в обработке изображений // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2014. В. 8-1 (179). Т. 30. С. 90—93.
2. **Real- Time Canny Edge Detection Parallel Implementation for FPGAs** / C. Gentsos, C.L. Sotiropoulou, S. Nikolaidis, N. Vassiliadis // Electronics, Circuits, and Systems (ICECS), 2010 17th IEEE International Conference on. Dec. 2010. P. 499—502.
3. **Захожай О.И., Солошенко А.Н.** Высокоскоростная обработка изображений с применением цифровых фильтров на базе FPGA: [Электронный ресурс] // Irbis - Nbuв.Gov. Режим доступа: irbis-nbuв.gov.ua/FILE/sntdgtu_2013_39_40.pdf.

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОКОННОГО ДАТЧИКА СКОРОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНФИГУРАЦИИ ВОЛОКОННОГО ЗОНДА

В последнее десятилетие активно развивается направление лазерной измерительной техники, получившее название «активная интерферометрия» или интерферометрия с оптической обратной связью [1]. Появление лазерных диодных модулей с оптоволоконным выходом дает дополнительное преимущество в простоте и дешевизне использования приборов, построенных на данном принципе.

Плоский торец световода, который исполняет роль не только приемника, как в работе [2], но и источника сигнала, сводит проблему юстировки прибора к минимуму, но большое расхождение пучка порядка $2,5^\circ$ при выходе из торца волокна сильно увеличивает измерительный объем и уменьшает дальность измерения (рис. 1).

В данной работе рассмотрены возможные конструкции волоконного зонда с использованием: микролинз, градиентных микролинз [3] и Y-разветвителей. Теоретически рассчитаны параметры ранее упомянутого прибора. Рассмотрены преимущества и недостатки полученных конструкций.

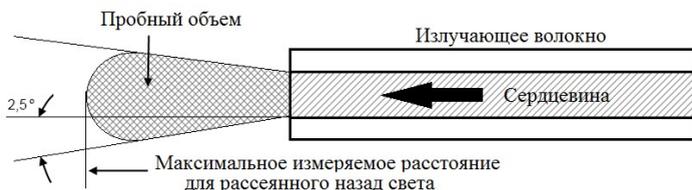


Рис. 1. Геометрия приема рассеянного излучения

Литература

1. **Laser diode self-mixing technique for sensing applications** / G. Giuliani, M. Norgia, S. Donati, T. Bosch // *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* 4 (2002) S283–S294.
2. **Ринкевичюс Б.С., Толкачев А.В., Тихомирова А.В.** Волоконно-оптический лазерный доплеровский анемометр. В 2 ч. Ч.1. // Уфа: АЭТЕРНА, 2015. 238 с.
3. **Налимов А.Г., Котляр В.В.** Острая фокусировка света планарной градиентной микролинзой // *Компьютерная оптика.* 2016. Т. 40. № 2.

Секция 9

ФОТОНИКА

Председатель секции — д.т.н., профессор В.П. Будак
Секретарь секции — аспирант О.В. Шагалов

В.Н. Васина, студ.; рук. О.А. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА РАЗГОРАНИЕ ИНДУКЦИОННОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ЛАМПЫ

В работе проведены измерения характеристик разгорания индукционной люминесцентной лампы с внутренней полостью, работающей на частоте разрядного тока $f = 135$ кГц и мощности 150 Вт, при разном ее положении и при различных температурах окружающей среды $T_{\text{окр}}$. Измерялись освещенность, мощность комплекта (ВЧ генератор + лампа), температуры сердечника и индуктивной катушки. На рис. 1 приведены характеристики разгорания лампы (зависимости освещенности E от времени разгорания лампы t), измеренные при положении лампы «база вниз» при трех температурах окружающей среды: -20 , 0 и $+20$ °С.

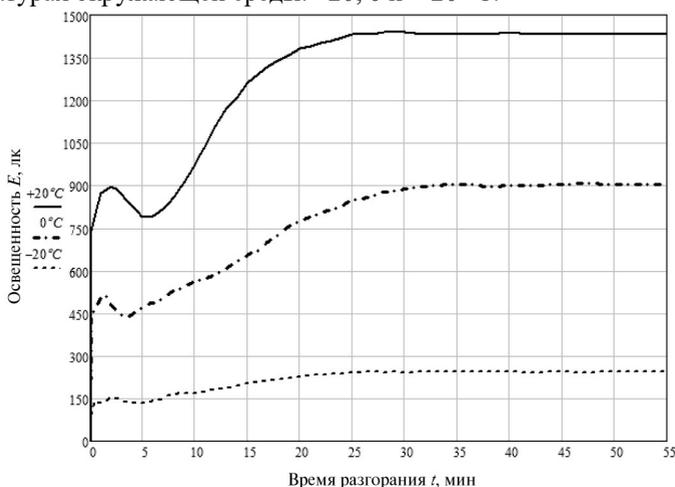


Рис. 1. Зависимость освещенности E от времени разгорания лампы t

Из рис. 1 видно, что с увеличением $T_{\text{окр}}$ время, за которое освещенность достигает 70 % своего установившегося значения уменьшается, а время достижения установившегося режима при всех трех температурах окружающей среды практически одинаково и составляет 25—30 мин.

С.В. Волох, студ.; рук. О.А. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДУКЦИОННОЙ АМАЛЬГАМНОЙ ЛАМПЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Проведены экспериментальные исследования излучательных характеристик индукционной люминесцентной лампы мощностью 150 Вт, работающей на частоте 135 кГц, в установившемся режиме в диапазоне температур окружающей среды $T_{\text{окр}}$ от -20 до $+60$ °С. Разрядная колба рефлекторной формы из вольфрамового стекла наполнена аргоном (0,3 Торр) и парами ртути с давлением около 1 Па, контролируемым температурой амальгамы Bi–In–Hg. Индуктивная катушка с ферромагнитным сердечником, возбуждающая в колбе индукционный разряд, размещена в полости на оси колбы. На рис. 1 приведена зависимость светового потока лампы Φ_v (в относительных единицах) от температуры окружающей среды. Откуда следует, что интервал рабочих температур, где $\Phi_v/\Phi_0 > 0,6$, $T_{\text{окр}} = 0 \div +60$ °С.

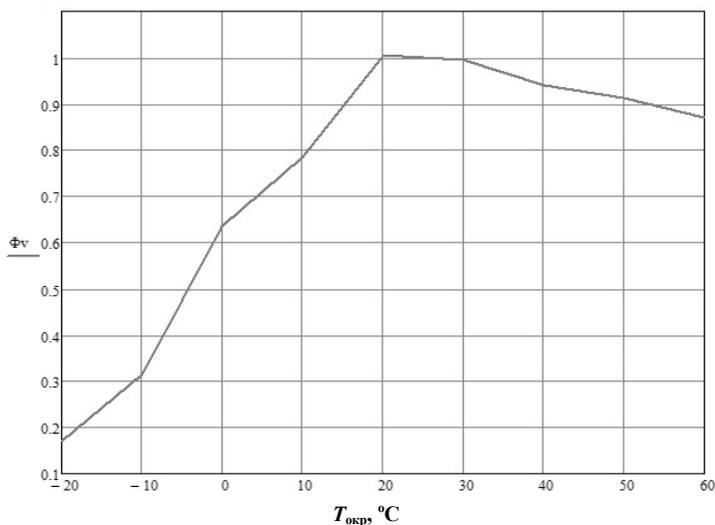


Рис. 1. Зависимость светового потока Φ_v лампы от температуры окружающей среды $T_{\text{окр}}$

В работе обсуждаются причины спада светового потока при низких ($T_{\text{окр}} < 0$ °С) и высоких ($T_{\text{окр}} > 60$ °С) температурах окружающей среды.

*И.Н. Горшенков, студ.; рук. С.П. Астахов, к.т.н., доц.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ДИАПАЗОНА

В настоящее время возрастает число сфер, где присутствие человека-оператора невозможно или ограничено. Примерами могут являться технологические процессы изготовления микроэлектронных компонентов, где имеют место особые требования к качеству обработки поверхности. Присутствие человека-оператора в производственном цикле экономически в большинстве случаев заменяется дистанционным контролем с использованием систем технического зрения. Для осуществления дистанционного контроля в технологических процессах по высокоточной обработке поверхностей сегодня применяют камеры системы технического зрения, обладающих достаточной чувствительностью в ультрафиолетовой области спектра [1].

На данный момент на рынке систем технического зрения ограничен выбор камер с необходимым уровнем чувствительности в ультрафиолетовой области спектра. В работе рассмотрена аналитика доступных информационных ресурсов по данной проблеме. Предложен проект разработки собственной системы технического зрения. С этой целью были проведены анализ элементной базы и последующий выбор образцов излучающих диодов УФ-диапазона для создания мощного искусственного источника излучения УФ-диапазона [2]. Рассмотрены оптимальные схемы конструирования подобного устройства, проведен расчет оптической системы искусственного источника излучения УФ-диапазона. Сформированы технические требования и проведен расчет стабилизатора питания для мощного искусственного источника излучения.

В работе рассмотрены особенности проектирования, расчетов и выбора компонентной базы искусственного источника излучения УФ-диапазона, который построен на основе мощных излучающих диодов соответствующего типа. Описаны условия достижения высокого КПД при оптимизации конструкции устройства и использования разработанного источника излучения с камерой системы технического зрения.

Литература

1. **Мощные** ультрафиолетовые излучающие диоды / Н.А. Гальчина, Л.М. Коган, А.А. Колесникови др. // Светотехника. 2010. № 3. С. 35—40.
2. **Источник** света с высокой яркостью излучения на длине волны 13,5 нм / В.М. Борисов, К.Н. Кошелев, А.В. Прокофьев и др. // Квантовая электроника. 2014. Т. 44. № 11. С. 1077—1082.

Д.Г. Грачёв, студ.; рук. В.П. Будаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИЗМЕНЕНИЕ СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

С развитием технологий в практике светотехники возникает все больше вопросов, решение которых требует организации динамического светораспределения. Возможность изменения КСС необходима при выполнении задач, связанных с формированием за короткое время нетривиальной геометрии потока излучения, что исключает необходимость замены светового прибора на другой с целью изменения диаграммы углового распределения силы света. Второе применение – автоматизация освещения либо затенения движущихся объектов. Применение данной технологии наиболее актуально в сфере автомобильной светотехники, где на данный момент решение вопросов недостаточной видимости и ослепленности встречным транспортным средством является приоритетным.

Для реализации динамического светораспределения планируется использовать матрицу, состоящую из большого количества светоизлучающих диодов (СИД). Их свет не удобен для прямого использования, так как обычно он распространяется в верхнее полупространство. Поэтому генерируемое излучение необходимо перенаправить, сфокусировать, грамотно распределить, для чего в оптическую систему будут включены элементы вторичной оптики – преломляющей (коллиматорные линзы) и отражающей (зеркальные элементы различной формы, позволяющие сформировать сложную светотеневую границу). Такой подход позволяет исключить все поворотные механизмы, а геометрию светового пучка изменять электроникой, которая по отдельности меняет яркость светодиодных блоков либо отключает их. Так как количество СИД в матрице довольно большое, регулировать их яркость вручную невозможно. Поэтому разрабатывается алгоритм, позволяющий автоматизировать работу данного устройства при воспроизведении фотометрических данных, поступающих в виде стандартных форматов представления — EULUMDAT (European) и IES (North American). Проектирование геометрии и оптических свойств вторичной оптики, а также анализ получаемого светораспределения осуществляется в TracePro — программном комплексе оптико-механического моделирования.

Совершенство всех элементов системы позволяет формировать требуемую пользователем диаграмму углового распределения силы света, точность воспроизведения которой определяется конструктивными особенностями осветительного прибора.

РЕАЛИЗАЦИЯ «САМ» СИСТЕМ

Главная задача состоит в прогнозировании цветового восприятия стимулов, воздействующих на зрительную систему человека в естественной среде.

Колориметрическая система CIE успешно работает более 80 лет, но она по-прежнему ограничивается сравнением стимулов, соответствующих между собой по цветовому ощущению и рассматриваемых в одинаковых условиях. Модели цветового восприятия (Color Appearance Models — CAM) поднимают классические системы на более высокий уровень, позволяющий ответить на вопрос о том, как будет выглядеть стимул при различных условиях просмотра.

Альтернативный способ решения поставленной задачи состоит в реализации программы: модели хроматической адаптации CAM в математической среде MatLab.

Реакцию колбочек можно с высокой точностью рассчитать путем линейного преобразования CIE — трехстимульных значений. Пример такого преобразования показан на рис. 1 [1].

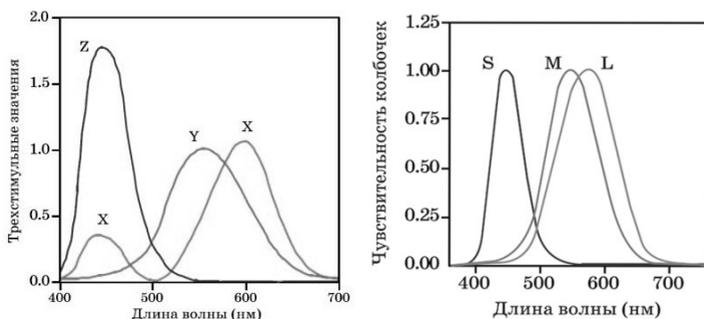


Рис. 1. Процесс линейного матричного преобразования трехстимульных значений в LMS-колбочковой чувствительности

$$\begin{pmatrix} L \\ M \\ S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,400 & 0,708 & -0,081 \\ -0,226 & 1,165 & 0,046 \\ 0,000 & 0,000 & 0,918 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Такое преобразование (1) или подобное ему – основа для всех моделей хроматической адаптации и моделей цветового восприятия, совместимых с CIE-колориметрией.

Литература

1. Fairchild M.D. Color appearance models. Chichester. West Sussex: John Wiley & Sons. Ltd., 2004.

ИСКАЖЕНИЕ ЦВЕТОВОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СВЕТОДИОДНЫХ ИС

Отличительной особенностью излучения большинства белых светодиодных источников, в том числе люминофорных, является вариация его спектра от направления, что приводит как к изменению цветовой температуры $T_{\text{цв}}$ их излучения в зависимости от угла наблюдения, так и качества цветопередачи. Во многих сферах точная передача цветов является необходимым условием, поэтому актуальным является вопрос искажения цветового пространства при освещении образцов под разными углами.

Проведенные измерения спектральной плотности силы излучения люминофорных СД фирмы Edison трех цветностей показали, что с увеличением угла наблюдения $T_{\text{цв}}$ их излучений уменьшается. Так, при угле излучения $\alpha = 65^\circ$ это уменьшение достигает 120 К для СД с $T_{\text{цв}} = 3100$ К, 350 К для СД с $T_{\text{цв}} = 4500$ К и 700 К для СД с $T_{\text{цв}} = 6600$ К. Искажение цветового пространства можно охарактеризовать изменением цветности образцов. Поскольку при освещении холодным СД искажение является максимальным, оценка проводилась именно для этого случая. На рис. 1 показано изменение цветности образцов, используемых в методе CQS при освещении их исследуемым источником ($T_{\text{цв}} = 6600$ К) при разных углах. Изменение цветности рассчитывалось для каждого угла по отношению к цветности образца при $\alpha = 0^\circ$ по следующей формуле:

$$\Delta E = \sqrt{\left[(L(0^\circ) - L(\alpha))^2 + \left[(a(0^\circ) - a(\alpha))^2 + (b(0^\circ) - b(\alpha))^2 \right] \right]}. \quad (1)$$



Рис. 1. Изменение цветности образцов в порогах

Из приведенного выше рисунка видно, что независимо от угла излучения наибольшим искажениям подвергаются сине-фиолетовые образцы (1—6). Эти особенности необходимо учитывать при создании световых приборов на базе СД.

АНАЛИЗ БЛИЖНЕГО ПОЛЯ ПРОЖЕКТОРА С ОТРАЖАТЕЛЕМ

Описание ближнего поля (БП) прожектора с зеркальным отражателем – задача трудоемкая, сопряженная с хранением и обработкой большого количества данных. Представление в виде набора лучей *.ray [2] не может быть использовано в программах для светотехнического расчета, а в виде квазисил света [1] в формате .ies, к сожалению, трудно внедрить в практику. Например, симуляция прожекторов в TracePro на основе .ray и .ies файлов ИС показывает (рис. 1), что разница результатов по освещенности на плоскости, размещенной в БП, достигает до 400 %.

Цель работы – исследовать БП прожекторов с различными углами излучения, найти типовые черты и определить способы представления данных БП для последующего использования их в программах светотехнического расчета.

Изучение БП проводилось на макете со светодиодами CREE XTE с $T_{цв} = 3000$ К и тремя различными отражателями с различными углами излучения 8° , 23° и 32° типа MIRELLA-50 (Ledil). На расстоянии до 250 мм БП не сильно зависит от типа отражателя, так как формируется прямым светом ИС. По фото было определено расстояние фотометрирования для каждого случая.

На основе данной симуляции оценена доля прямой составляющей – около 30 %, являющаяся постоянной вне зависимости от угла излучения при условии одинаковой геометрии. А длина зоны БП прожектора зависит от угла излучения и имеет схожий характер при одинаковых углах излучения.

Далее стоит задача разработать упрощенный метод описания углового распределения яркости прожектора с зеркальным отражателем с помощью фото и IES файла.

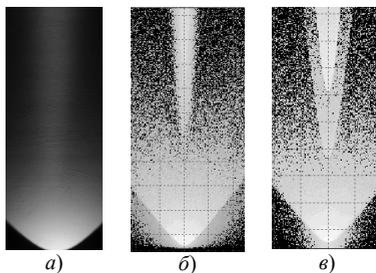


Рис. 1. Фото отражателя (8°) (а); симуляция этого отражателя с .ray (б); симуляция с .ies (в)

определено расстояние фотометрирования для каждого случая.

Литература

1. Коробко А.А. Расчет освещения в ближней зоне // Светотехника. 2010. № 1.
2. IES TM-25-13. Ray File Format for the Description of the Emission Property of Light Sources.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВРАЩЕНИЯ РАЗРЯДНОЙ КОЛБЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЧ СЕРНОЙ ЛАМПЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В современных СВЧ серных лампах высокого давления $p = 2-6$ атм используется вращающаяся кварцевая разрядная колба, размещенная в цилиндрическом светопрозрачном (сетчатом) резонаторе [1]. В настоящей работе проведены экспериментальные исследования влияния скорости вращения разрядной колбы СВЧ серной лампы, работающей на частоте 2,45 ГГц и мощностях магнетрона 90—540 Вт, на освещенность (фактически световой поток лампы), температуру стенок колбы, спектр оптического излучения плазмы и цветовые характеристики лампы. Установлено, в частности, что в СВЧ серной лампе высокого давления с заданными конструктивными параметрами колбы и резонатора ее спектр излучения лампы в установившемся режиме не меняется при повышении скорости вращения колбы свыше 8—10 об/с (рис. 1). В работе обсуждаются способы получения устойчивого СВЧ разряда в парах серы высокого давления в неподвижной колбе.

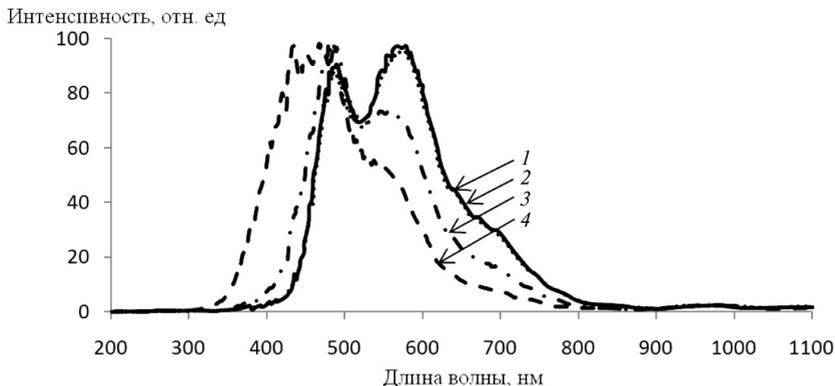


Рис. 1. Спектр излучения СВЧ серной лампы, измеренный при скоростях вращения колбы v : 1 — 24 об/с; 2 — 10 об/с; 3 — 7 об/с; 4 — 4 об/с. Мощность магнетрона $P = 300$ Вт

Литература

1. Dolan J.T., Ury M.G., Wood C.H. Novel high efficacy microwave powered light source // Proc. 6th Int. Symp. Sci. Technol. Light Sources. Budapest, 1992. P. 301.

ТРАССИРОВКА ЛУЧЕЙ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА СВЕТОРАССЕИВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

На сегодняшний день имеется множество задач в разных областях науки и техники, решаемых с помощью алгоритмов трассировки лучей, количество которых не перестает расти.

В работе представлена теоретическая база [1, 2], на основе которой была разработана программа расчета оптических систем с возможностью визуализации хода лучей. С помощью разработанной программы были проведены три практических расчета из разных областей проектирования оптических систем: КСС для параболического отражателя с осесимметричным равномерным источником, освещенность на поверхности в комнате с диффузными и зеркальными стенами (рис. 1), построение хода лучей в зеркально-линзовой оптической системе (рис. 2). Данные расчеты были сравнены с аналитическим решением, а также с популярной программой по расчету освещения DIALux.

В работе было наглядно продемонстрировано, что алгоритм трассировки лучей — это универсальный метод для физически корректного решения различных задач оптики и светотехники с подробным теоретическим обоснованием каждого этапа создания программы на основе этого алгоритма.

92	97	99	99	92	79	83	95	95	73	69	64	68	62	81	64	66	64	70	96	
71	99	98	109	96	114	101	124	107	123	122	129	125	105	119	112	130	91	86	101	90
98	133	118	110	108	125	134	120	105	138	136	126	86	112	111	134	109	91	112	103	71
71	114	106	112	116	115	137	126	132	122	104	133	137	129	137	127	133	121	126	103	80
76	117	116	103	130	131	129	131	140	111	133	135	121	131	134	129	132	145	105	112	78
80	131	121	138	124	130	154	150	144	123	127	144	140	148	149	142	131	118	138	120	72
73	100	135	127	136	145	134	159	131	137	146	146	135	138	135	149	142	126	131	125	84
77	146	167	140	142	165	160	162	122	162	200	153	145	142	150	148	138	146	136	162	78
83	145	169	142	176	161	139	111	160	189	159	168	175	162	176	163	151	157	165	160	79
82	155	182	169	178	162	158	147	168	152	167	181	161	190	150	181	169	155	161	127	86
89	168	196	183	177	175	199	182	171	180	158	174	181	183	186	170	172	162	161	152	76
91	161	196	185	166	186	206	188	165	160	206	174	170	173	206	178	164	172	175	182	117
95	160	198	188	146	189	170	189	209	171	189	191	189	177	175	197	205	172	167	172	88
115	1884	181	159	169	175	168	188	183	185	185	203	181	183	187	177	206	175	188	166	83
89	161	210	199	222	210	210	185	251	195	177	200	190	217	217	168	167	164	150	177	83
106	204	179	209	191	234	174	217	198	212	185	203	200	189	195	183	202	189	195	198	74
108	204	176	205	191	170	186	205	189	170	186	198	187	186	183	187	184	211	205	201	104
83	201	198	197	188	171	188	213	183	203	182	175	200	171	202	179	202	195	192	184	93
95	208	178	170	188	208	188	170	186	208	186	189	181	186	182	189	181	169	180	158	108
86	176	139	168	160	163	195	200	196	196	170	199	184	159	204	215	164	175	174	108	108
84	167	180	189	152	186	140	198	160	181	175	179	194	168	191	167	164	182	190	159	84
92	165	150	152	168	140	168	171	159	173	176	182	162	173	170	155	151	159	160	77	
89	135	140	156	147	177	168	157	189	153	161	145	189	177	168	148	158	151	145	144	84
79	152	149	137	146	140	158	137	170	160	150	162	161	152	129	160	130	143	153	146	87
88	129	143	131	123	127	148	135	153	166	122	172	145	134	137	139	174	127	166	146	81
87	122	135	109	124	129	153	143	151	134	117	120	136	111	134	141	143	138	151	140	80
86	130	135	113	106	123	122	127	139	119	123	127	138	146	121	114	160	119	122	132	77
71	121	107	105	115	112	139	126	123	143	133	122	140	151	130	144	111	112	102	110	82
82	118	88	120	110	102	102	124	124	135	143	117	115	135	109	134	114	105	113	93	80
48	121	107	83	106	128	115	124	124	89	128	109	128	141	127	111	101	109	102	103	79
35	81	76	84	56	72	51	70	81	71	71	57	61	61	56	63	65	69	61	66	64

Рис. 1. Распределение освещенности на расчетной поверхности

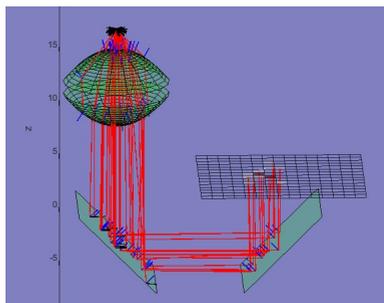


Рис. 2. Зеркально-линзовая оптическая система

Литература

1. Будак В.П. Методы решения уравнения переноса излучения. М.: Издательство МЭИ, 2007.
2. Шехонин А.А. Световое поле. Основы оптики: Конспект лекций. СПб.: ИТМО, 2009.

СВЕТОДИОДНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ДЛЯ ЖИЛОГО ПОМЕЩЕНИЯ

В настоящее время современные технологии сделали огромный прорыв. Так, декоративная подсветка является одним из самых перспективных направлений и основана на использовании светодиодов в качестве источника света. В отличие от обычных ламп светодиодные более экономичны в использовании энергии, имеют большую цветовую гамму свечения и высокую светоотдачу, а также незначительное тепловыделение.

Целью работы является разработка декоративной подсветки для жилого помещения с возможностью широкой настройки освещения согласно требованиям заказчика.

Разрабатываемое освещение состоит из RGB SMD 5050 ленты [1]. Управление осуществляется при помощи пульта управления. Пульт управления предназначен для выбора световой палитры, регулировки яркости, включения/выключения декоративной подсветки, выбор предустановленных режимов освещения (например, чтение книг, работа за компьютером, сон и др.). Также в подсветку встроены фотоэлементы для автоматической настройки яркости в зависимости от освещенности в помещении. Сигналы с пульта по bluetooth каналу поступают на систему управления (рис. 1), в основе которой лежит микроконтроллер. Необходимые режимы работы светодиодной ленты обеспечиваются при помощи силовых ключей.



Рис. 1. Структурная схема светодиодной подсветки

Таким образом, разрабатывается декоративная светодиодная подсветка, которая может быть использована не только для обычного освещения комнаты, но и для создания в ней неповторимых атмосферы и уюта.

Литература

1. **Типы** светодиодных лент. [Электронный ресурс]. URL: <http://lifeandlight.ru/istochniki-sveta/svetodiody/vidy-svetodiodyh-lent.html>

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЛИЧЕСТВА СИНЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СПЕКТРЕ ИСТОЧНИКА БЕЛОГО СВЕТА НА ЗРИТЕЛЬНОЕ УТОМЛЕНИЕ

В последние годы в научных кругах утвердились два мнения о влиянии количества синего излучения в спектре источника белого света. Первое связано с положительным воздействием синего излучения на зрительную работоспособность, особенно при работах в ночное время [1]. Второе – с разрушительным воздействием этого излучения на глазные среды [2]. Целью данной работы является исследование влияния синего излучения на зрительное утомление и определение доли синего излучения в спектре источника белого света для комфортной работы глаза человека.

Была разработана экспериментальная установка, которая позволяла менять долю синего излучения в спектре белого излучения при освещении рабочего места оператора, работающего за персональным компьютером (ПК). Синее излучение создавалось светодиодными лампами, поток которых менялся с помощью диафрагм. ПК размещался в адаптometре, пространство которого освещалось моделируемым спектром. Оператор работал с программой, требующей сильного зрительного напряжения. Перед экспериментом проводилось измерение видимости и оценивалось зрительное утомление оператора перед началом работы. Работа с ПК при определенном спектре освещения адаптometра продолжалась 30 мин., после чего снова измерялась видимость. По измеренным значениям видимости рассчитывалось зрительное утомление. Были смоделированы 5 спектров с различными долями синего излучения. В экспериментах участвовало 5 человек в возрасте до 30 лет.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующее заключение. Увеличение доли синего в спектре источника белого света приводит к росту утомления при напряженной зрительной работе, что необходимо учитывать при оценке зрительной работоспособности. Обнаружен новый эффект, который не упоминается в литературе – эффект снижения утомления при доли синего излучения, равной 18,2 %.

Литература

1. **Архангельский Д.В.** Исследование влияния света на циркадные ритмы человека // Вестник МЭИ. 2014. № 5. С. 104—108.
2. **Шаракшане А.С.** Влияние освещения на циркадный ритм человека, «опасность синего света» // Полупроводниковая светотехника. 2012. № 4. С. 24—31.

*М.А. Масленникова, студ.; рук. Будаков В.П., д.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ДИСКОМФОРТА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

В современной практике распространено проектирование осветительных установок по количественным показателям, а не по качественным. В частности, рассматривается показатель дискомфорта. Определение показателя дискомфорта экспериментальным путем слишком субъективно. За основу взят эксперимент Лекиша и Гута [1] для определения ощущения «комфорт-дискомфорт». Цель данной работы — исследование качественного показателя дискомфорта на осветительной установке из светодиодов и сравнение результатов с экспериментом Лекиша и Гута.

На установке из светодиодов в центре расположена круглая плата с тремя светодиодами, вокруг которой смонтированы прямоугольные платы для имитации блеских источников большего размера, по диагонали также расположены источники различной конфигурации. Управление установкой осуществляется с помощью тумблеров, для каждого источника предусмотрен свой переключатель. Опираясь на шкалу Холледея и интерпретировав некоторые ощущения, создавалась нужная шкала ощущений.

Проведя серию экспериментов, было построено распределение Гаусса. При сравнении максимальных значений нашего эксперимента и эксперимента Лекиша и Гута, получились расхождения. Проанализировав расхождения и устранив их, была проведена новая серия экспериментов. Их результаты изменялись в сторону эксперимента Лекиша и Гута.

Хотелось проверить соответствие методики принятым стандартам в эксперименте Лекиша и Гута. Мы увидели, что есть расхождения с нашими экспериментами. Этому было найдено объяснение. Внесенные нами исправления сместили результаты в нужную сторону, следовательно, можно двигаться дальше. На показатель дискомфорта может также повлиять размер источника.

Дальнейший план нашей работы — провести массовые эксперименты, изменяя как положение источника, так и его размер, и посмотреть, как они влияют на показатель дискомфорта.

Литература

1. **Luckiesh M., Guth S.K.** Brightnesses in Visual Field at Borderline between Comfort and Discomfort (BCD) // *Illuminating Engineering*. 1949. Vol. 44. P. 650—670.

Т.В. Мешкова, асп.; рук. В.П. Будаков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОСВЕЩЕНИЯ ПРИ НАЛИЧИИ БЛЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ

Одной из ключевых ролей современной светотехники является создание комфортной энергоэффективной световой среды.

Качественные показатели освещения в помещениях во многом определяются правильным выбором светильников, регламентируемое или предельно-допустимое значение многих из них выявляется экспериментальным путем. Ярким тому примером является формула для определения показателя дискомфорта.

Для исследования дискомфорта от блескости на кафедре светотехники НИУ «МЭИ» была создана экспериментальная установка на основе светодиодных источников света.

Первым этапом исследования явилась валидация экспериментальной установки. За основу эксперимента было взято исследование по определению яркости в поле зрения на границе комфортно-дискомфортной блескости (далее ГKD) от источников различной яркости и размеров [1] при условии использования различных шкал критериев дискомфорта [2].

В процессе исследования были выявлены существенные недочеты в конструкции экспериментальной установки, наиболее существенно повлиявшие на отличия эксперимента от результатов Лекиша—Гута [1], после чего был проведен ряд модификаций установки.

Результаты экспериментов, проведенных на кафедре светотехники МЭИ, позволили выделить следующие факторы, влияющие на зрительный дискомфорт, а следовательно, и на качество освещения в целом: распределение яркости в сцене; зрительная адаптация; спектральный состав источников света; время экспозиции. Из результатов экспериментов также следует, что наибольший вклад вносят первые два фактора, валидация установки завершена, и следующим этапом является переход к исследованию зависимости ГKD от размера и положения блеского источника, а также от яркости адаптации. Эти исследования помогут перейти к формулированию показателя дискомфорта от блеских источников протяженной формы с неравномерным распределением яркости.

Литература

1. **Luckiesh M, Guth SK.** Brightnesses in Visual Field at Borderline Between Comfort and Discomfort (BCD) // *Illuminating Engineering*. 1949. V. 44. P. 650—670.
2. **Hopkinson R.G.** The multiple criterion technique of subjective appraisal // *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 1950. V. 2. No 3. P. 124—131.

МЕТОДИКА ОСВЕЩЕНИЯ СКЛАДА

Поставим задачу: на какой высоте вешать светильники на складском помещении?

Рассмотрим метод с люминесцентными лампами (далее ЛЛ) на тросовом подвесе [1, 2]. Используем программу DIALux.

Я взяла помещение размером 10 метров на 12 метров и высотой потолка 4 метра. В помещении имеется 9 столбов до потолка, между ними стоят полки для хранения, вдоль двух стен стоят полки высотой 3 метра. Также имеется двухстворчатая дверь. Развесила ЛЛ на тросовом подвесе.

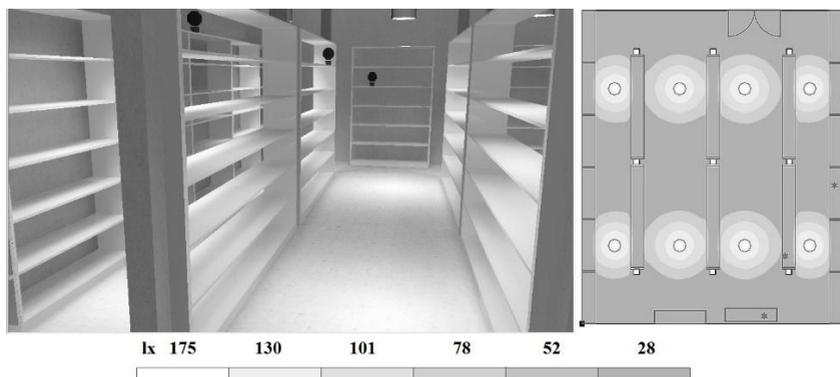


Рис. 1. Освещение и градация серого ЛЛ на тросовом подвесе

Получаем, что освещение неравномерно, и светильники мешают для пользования верхними полками.

Рассмотрим вариант, что лампы висят в проходе между полками. Из рис. 1 получаем, что по-прежнему освещения не хватает, свет не бесперебойного действия и так же будет мешать выставлению крупных вещей на верхние полки.

Делаем вывод, что лучше использовать встраиваемые лампы с целью улучшить распространение света и экономии места.

Литература

1. Полярин Ю. Современные требования к освещению склада // Склад и техника. 2004. № 8.
2. СНиП 23.05—95. Естественное и искусственное освещение.

В.А. Рыбина, студ.; рук. А.А. Григорьев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРА ИСТОЧНИКА СВЕТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДОРОЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

На эффективность источника света (ИС), обеспечивающего заданный уровень видимости объектов на дорогах, влияет изменение видимого и порогового контрастов объектов с фоном, связанное со сдвигом положения максимума кривой спектральной чувствительности глаза $V(\lambda)$.

С уменьшением длины волны падает спектральный коэффициент отражения дорожного покрытия, что приводит совместно с этим сдвигом к уменьшению эффективной яркости дорожного покрытия и увеличению порогового контраста объекта с фоном.

В отличие от фона спектральные характеристики объектов носят немонотонный и разнонаправленный характер, поэтому изменение наблюдаемого контраста зависит от типа объекта. При проведении расчетов необходимо посчитать эффективную величину для каждого контраста объекта с фоном, а затем взять среднее арифметическое результатов расчета.

В работе исследовались изменения параметров в области яркостей, соответствующих нормируемым значениям яркости дорожного покрытия ($0,2—2$ кд/м²), с использованием рекомендуемой МКО сумеречной модели зрительной системы.

Результаты расчетов для яркости $0,2$ кд/м² представлены в таблице.

Таблица

Сопоставление сумеречных (L, S, K)
и дневных ($L_{\text{дн}}, P, K_{\text{дн}}$) условий наблюдения

ИС/Параметр	$L/L_{\text{дн}}$	$(S/P)'$	$(K/K_{\text{дн}})_{\text{ср}}$	Итоговый выигрыш при равной световой отдаче
LED Philips $T_{\text{ц}} = 4100$ К	0,973	1,021	0,989	0,977
ХМ-L2 $T_{\text{ц}} = 5100$ К	0,972	1,039	0,987	0,985
LED Seol $T_{\text{ц}} = 5600$ К	0,972	1,063	0,985	0,995
SWC1 $T_{\text{ц}} = 10\ 000$ К	0,964	1,144	0,985	1,019

Спектр ИС характеризовался коррелированной цветовой температурой ($T_{\text{ц}}$), которая определяет длину волны излучения максимального сосредоточения основной массы излучения в спектре.

Как видно из таблицы, изменение яркости дорожного покрытия не превышает 4 %, а видимый контраст меняется менее чем на 2 %. На $(S/P)'$ фактор сдвиг кривой $V(\lambda)$ оказывает более существенное влияние при повышении $T_{\text{ц}}$. В области яркостей ($0,2—2$ кд/м²) влияние изменения положения максимума $V(\lambda)$ мало существенно.

ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЯРКОСТИ НА КАЧЕСТВО ОСВЕЩЕНИЯ

Качество освещения – характеристика зрительных ощущений, позволяющая при определенном пространственно-угловом распределении яркости оценивать установленные условия освещения.

Качество освещения определяется функцией яркости на участках поля зрения в зависимости от зрительного ощущения. Соотношения яркостей различны в отдельных зонах пространства. Данное различие может влиять на видимость зрительной задачи, что при длительной работе может способствовать ухудшению зрительной работы.

Соотношения яркостей в центре поля зрения определяют видимость объекта. На периферии зрения контраст напрямую определяет зрительный комфорт и косвенно видимость.

Исследования яркостных эффектов в центральном и периферическом поле зрения показали их зависимость от остроты зрения, контрастной чувствительности, скорости работы, точности и психологической реакции.

Для оценки зрительного дискомфорта проводился эксперимент на основе исследований Лукиша и Гута [1]. Изучалось влияние блеского источника в поле зрения наблюдателя на оценку зрительных ощущений, и по результатам опыта приведены факторы, влияющие на яркость на границе комфортно-дискомфортного ощущения.

Испытуемым была предоставлена возможность оценки ощущения яркости, когда источник света находился в центре и на периферии зрения. С помощью регулятора яркости они могли устанавливать яркость на границе комфортно-дискомфортного ощущения. Полученные статистические данные затем усреднялись.

Результаты экспериментов МЭИ позволили выделить следующие факторы, влияющие на качество освещения:

- пороговый контраст;
- пространственно-угловое распределение яркости;
- зрительная адаптация;
- спектральный состав источников света;
- время экспозиции.

Литература

1. **Luckiesh M., Guth S.K.** Brightness in the visual field at borderline between comfort and discomfort // *Illuminating Engineering*. 1949. V. 44. No. 11. P. 650—670.

Ю.А. Скорик, асп.; рук-ли Н.П. Елисеев, доц., А.А. Григорьев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»); конс. Е.Ф. Бычин, рук. направления ИТ (ООО «НПО ПКРВ», Москва)

ОБ АКТУАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРАХ ОЦЕНКИ ЗРИТЕЛЬНОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

С конца XX века уделяется внимание развитию осветительных установок (ОУ), способных варьировать уровень освещенности на рабочей поверхности и цветовую температуру источников света [1, 2]. Интерес к ОУ динамичного освещения (ДО) возрос с открытием так называемого третьего типа фоторецепторов [3]. Недостатком таковых ОУ остается их стоимость. В условиях экономики, сложившихся на момент публикации, интерес к ОУ ДО снижен. Компромиссом качества и экономики могут стать осветительные приборы (ОП), позволяющие изменять цветовую температуру источников света в ограниченном диапазоне, не противореча принципам ДО [4].

При оценке таких ОУ важно, чтобы критерии этой оценки были информативными, имели в своей основе только актуальные параметры, тем самым не затрудняя их обработку. Одним из таких критериев является зрительная работоспособность (ЗР). В оценку ЗР может входить до 9 параметров, что влияет на время обработки и интерпретации результатов исследований. На основании исследований, проведенных на кафедре светотехники НИУ «МЭИ» с помощью специально разработанной программы уточнен коэффициент работоспособности (заменены 3 параметра оценки ЗР). Эффективность введения данного параметра показана в ходе обработки экспериментальных данных: указывается изменение параметра на 40 %, тогда как многие из используемых параметров меняются в пределах 5 %, что не может давать основания для ссылки на них как на информативные показатели.

Литература

1. **Браиловский В.А.** Динамическое освещение помещений // Светотехника, 1980. № 10. С. 4—8.
2. **Руководство** по проектированию динамического освещения в производственных помещениях. НИИСФ Госстроя СССР. М.: Стройиздат, 1980.
3. **Stocklhuber A.** Новые исследования влияния света на жизнедеятельность человека и новые средства динамического внутреннего освещения // *Elektro & Gebäudetechn.* 2006. No 7.
4. **Ван Ден Бельд Г.** Свет и здоровье // Светотехника. 2003. № 1. С. 4—8.

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕТОДИОДОВ НА ВИЗУАЛЬНОЕ ВОСПРИЯТИЕ ЦВЕТОВ В ИНТЕРЬЕРЕ

Сегодня среди прочих характеристик источников света большое внимание уделяется индексу цветопередачи. Однако существуют задачи, которые не требуют от источников высоких значений этого индекса: достаточно увеличить визуальную привлекательность отдельных цветов [1]. Такой эффект «усиления» цвета [2], т.е. увеличения его визуальной привлекательности, широко применяется в мировой практике. Стоит задача дать научное обоснование этого эффекта на основе экспертных оценок.

Для решения поставленной задачи была создана светотехническая установка, позволяющая изменять спектральный состав излучения светодиодного источника света. Для субъективной оценки по категориям «комфортность» и «наличие эффекта приукрашивания» наблюдателям предъявлялись 7 вариантов освещения цветных образцов с известными спектральными распределениями коэффициентов отражения.

По результатам статистической обработки данных эксперимента, полученных методом экспертных оценок, было установлено, что, используя белые светодиоды, имеющие какой-либо оттенок цвета излучения, можно изменять цветовое восприятие цветных объектов: усиливать такие характеристики, как насыщенность, чистота цвета, цветовой тон. Иными словами, повышать визуальную привлекательность цветных объектов. Данное явление можно использовать в сфере торгового освещения для привлечения внимания к отдельным объектам, при освещении цветных фасадов зданий, картинных галерей, для создания особой праздничной атмосферы в интерьерах помещений.

Литература

1. **M. Ronnier Luo, Changjun Li.** Colorimetry: Understanding the CIE System. – John Wiley & Sons, 2007.
2. **Hunt R.W.G.** Light and Dark Adaptation and the Perception of Color // Journal of The Optical Society of America. 1952. Vol. 42. No 3.

В.Д. Чембаев, Т.В. Мешкова, аспиранты; рук-ли В.П. Будак, д.т.н., проф.; В.С. Желтов, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

КРИТЕРИЙ КАЧЕСТВА ВНУТРЕННЕГО ОСВЕЩЕНИЯ

Развитие компьютерных методов математического моделирования за последние годы совершило существенный прорыв в области проектирования осветительных установок (ОУ). Сегодня уже можно достаточно точно проектировать ОУ на заданные количественные характеристики, а также получать фотореалистическое изображение еще не существующей установки. Однако нельзя не отметить, что до сих остается нерешенной задача оценки качества освещения. Более того, сформулированные на сегодняшний день качественные характеристики обладают существенными недостатками и нуждаются в тщательной доработке.

В современном мире энергосбережения все активнее укрепляют свои позиции светодиоды и осветительные приборы на их основе. Таким образом, дискомфорт от блестящих источников малого размера является весьма актуальной проблемой.

В рамках нашей работы мы провели исследование по оценке ощущения дискомфорта от блестящего источника в поле зрения наблюдателя, основываясь на эксперименте Лекиша и Гута (1949 г.) по нахождению граничного значения дискомфорта от блескости. В ходе эксперимента удалось выявить зависимости между основными факторами, такими как пространственно-угловое распределение яркости, зрительная адаптация, спектральный состав источников, время экспозиции.

Как известно, на дискомфорт влияет контраст. На наш взгляд, отношение контраста к пороговому может служить критерием качества освещения. Говоря о едином интегральном показателе качества освещения, необходимо учесть зависимость реакции глаза на яркость от отклонения угла визирования от оси зрения. Также стоит отметить, что в большинстве практических светотехнических задачах нас интересует не освещение во всей сцене, а только в некоторых частях, что требует учета в расчете качества освещения:

$$Q = \frac{1}{AK_{\text{пор}}} \int K(x, y) p(x, y) h(x, y) dx dy, \quad (1)$$

где $p(x, y)$ — функция зависимости реакции глаза от угла визирования, а $h(x, y)$ — некая весовая функция, учитывающая светотехническую задачу.

Предложенный подход к формулированию критериев качества на основе интегральной оценки пространственно-углового распределения яркости является хорошей отправной точкой для дальнейших исследований.

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Председатель секции — зав. каф. ПЭ, д.т.н., профессор
 Д.И. Панфилов
 Секретарь секции — к.т.н., доцент Д.А. Серёгин

О.Д. Бабенко, М.А. Старовойтов, Н.А. Умпирович, А.В. Пантюхов,
 студенты; рук. Л.Л. Лямец, к.т.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ОДНОФАЗНОГО БЕЗМОСТОВОГО КОРРЕКТОРА КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Импульсные источники питания генерируют гармонические и нелинейные искажения тока, которые отрицательно влияют на проводку электросети и электроприборы [1].

Для решения данной проблемы целесообразно будет использовать безмостовой корректор коэффициента мощности, который лишен ряда недостатков мостового корректора коэффициента мощности, таких как проблема получения общей точки выходного напряжения с землей и вытекающая из нее проблема сложности фильтрации помех, если общая точка отсутствует.

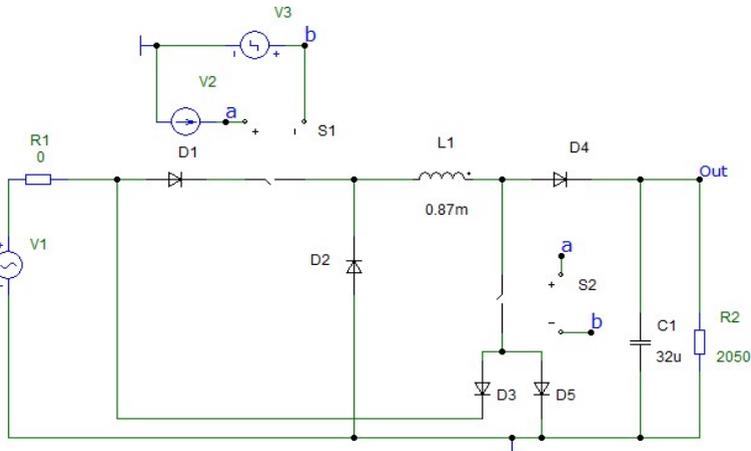


Рис. 1. Виртуальная модель однофазного безмостового корректора коэффициента мощности в среде Micro-Cap

Исследование заключается в построении виртуальной модели однофазного безмостового корректора коэффициента мощности в среде виртуального моделирования Micro-Cap.

Полученная виртуальная модель представлена на рис. 1.

В ходе работы были получены графики внешней и регулировочной характеристик однофазного безмостового корректора коэффициента мощности, полностью доказывающие работоспособность виртуальной модели.

Литература

1. **Мэк Р.** Импульсные источники питания. Теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению: пер. с англ. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. 272 с.

И.Ю. Бутарев, асп.; Д.Ю. Азьмуко, студ.;
рук. А.И. Андриянов, к.т.н., доц. (БГТУ, г. Брянск)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ КОРРЕКТОРОВ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Трехфазные корректоры коэффициента мощности призваны скомпенсировать негативное влияние нелинейных нагрузок на питающую сеть. При дрейфе параметров системы могут возникать различные аварийные режимы работы. Это требует исследования нелинейной динамики таких систем на этапе проектирования с помощью математического моделирования [1, 2].

При рассмотрении физических процессов в схеме можно выделить семь возможных вариантов схем замещения в зависимости от комбинации включенных ключей. Каждая схема замещения описывается системой дифференциальных уравнений, которая в матричной форме имеет вид

$$\frac{d\mathbf{X}}{dt} = \mathbf{A}_i \cdot \mathbf{X} + \mathbf{B}_i, \quad (1)$$

где \mathbf{A}_i — матрица постоянных коэффициентов на i -м участке гладкости размером 3×3 ; \mathbf{B}_i — вектор вынуждающих воздействий на i -м участке гладкости; $\mathbf{X} = [i_1, i_2, u_c]$ — вектор переменных состояния.

Решение системы дифференциальных уравнений на участке гладкости имеет вид

$$\begin{aligned} \mathbf{X}(t) = & e^{\mathbf{A}(t-t_0)} \cdot \mathbf{X}_0 + e^{\mathbf{A}(t-t_0)} \cdot (\mathbf{B}_1 E_m [\cos \phi_1 \mathbf{F} + \sin \phi_1 \mathbf{N}] + \\ & + \mathbf{B}_2 E_m [\cos \phi_2 \mathbf{F} + \sin \phi_2 \mathbf{N}] + \mathbf{B}_3 E_m [\cos \phi_3 \mathbf{F} + \sin \phi_3 \mathbf{N}]), \end{aligned} \quad (2)$$

где $\mathbf{X}(t)$ — значение вектора переменных состояния в момент времени t ; \mathbf{X}_0 — значение вектора переменных состояния в момент времени t_0 ; $\mathbf{B}_1, \mathbf{B}_2, \mathbf{B}_3$ — вектора вынуждающих воздействий; E_m — амплитуда входного напряжения; \mathbf{F}, \mathbf{N} — специальные векторы для данной конкретной модели.

Выполнено моделирование трехфазного корректора коэффициента мощности и проведен сравнительный анализ полученных результатов с результатами, полученными в MatLab Simulink, и отмечена высокая степень сходства. Показано, что применение разработанной математической модели позволяет получать большую точность при более высокой скорости расчета.

Литература

1. **High-feedback** operation of power electronic converters / Z.T. Zhusubaliev, E. Mosekilde, A.I. Andryanov, G.Y. Mikhalchenko // Electronics. 2013. № 2. С. 113—167.

2. **Андриянов А.И., Малаханов А.А.** Модель корректора коэффициента мощности с управлением внутри одного тактового цикла // Системы управления и информационные технологии. 2007. Т. 27. № 1.1. С. 108—113.

СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫМ ТРАНЗИСТОРНЫМ АКТИВНЫМ КОМПЕНСАТОРОМ НЕАКТИВНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТОКА СЕТИ

Высоковольтный транзисторный активный компенсатор неактивных составляющих тока сети состоит из последовательно включенных по цепи переменного тока транзисторных мостов [1]. В цепи постоянного тока каждого из них поддерживается постоянное напряжение, величина которого зависит от напряжения сети и количества мостов. Сетевой ток формируется за счет приложения сетевого напряжения и напряжения компенсатора к дросселю, который включен последовательно с компенсатором. Форма тока дросселя определяется неактивными составляющими тока нагрузки. Спектр тока нагрузки содержит множество гармоник, поэтому напряжение компенсатора должно быть полигармоническим.

Для формирования напряжения компенсатора рассмотрены два способа управления полупроводниковыми ключами. Первый способ ступенчатый, он заключается в подключении транзисторных мостов в разные моменты времени, тем самым подключая постоянные источники напряжения (рис. 1, *а*). Второй способ широтно-ступенчатый, отличающийся от первого наличием широтно-импульсной модуляции в ступенях (рис. 1, *б*).

В работе исследуются возможности ступенчатого и широтно-ступенчатого способов управления для компенсации гармоник с частотами выше и ниже частоты сети.

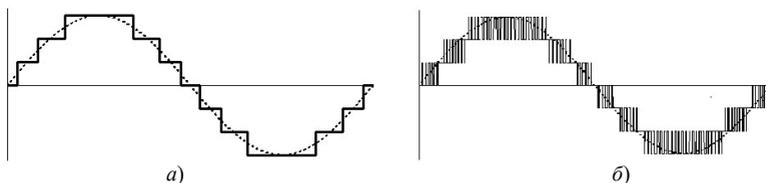


Рис. 1. Способы управления: *а* – ступенчатый способ управления; *б* – широтно-ступенчатый способ управления

Литература

1. Вершанский Е.А., Чаплыгин Е.Е. Высоковольтный транзисторный активный компенсатор неактивных составляющих тока сети // Радиотехника, электроника и энергетика: Тезисы докладов XXII междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (25—26 февраля 2016 г., Москва). В 3 т. Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2016. 332 с.

*Р.Ш. Гафутдинов, Р.Р. Гаязов, студенты;
рук. Л.В. Ахметвалеева, к.п.н., доц. (КГЭУ, г. Казань)*

ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДЫ LABVIEW ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МОДУЛЯ ПРОЦЕССОРА СОБЫТИЙ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Данная работа посвящена тестированию режимов работы периферийных модулей (таймер/счетчик, модуль синхронной передачи данных) на примере универсального восьмиразрядного микроконтроллера HC08 с использованием программной среды LabView.

В данной работе рассматриваются периферийные модули TIM08 и SPI08. Все микроконтроллеры HC08 имеют хорошо оснащенный, очень гибкий программируемый модуль таймерного интерфейса, который связан с внешними схемами через два канала входа/выхода (T1CH0, T1CH1) [1].

Объектом тестирования является лабораторный стенд на основе 8-разрядного микроконтроллера фирмы Motorola MC68HC908GP32. Модуль SPI08 служит для синхронной передачи цифровых сигналов между персональным компьютером и лабораторным стендом. 16-разрядный порт лабораторного стенда предназначен для передачи цифрового сигнала на персональный компьютер через последовательную шину RS232. Во время работы таймера/счетчика в режиме выходного сравнения микроконтроллер формирует цифровые сигналы и передает их на последовательную шину RS232, после чего в программной среде LabView формируется сигнал, посланный с лабораторного стенда [2].

Предлагаемый программно-аппаратный комплекс обеспечивает тестирование и других режимов работы процессора событий (режим входного захвата, функция широтно-импульсной модуляции), а также обеспечивает пополнение и обновление библиотек аппаратного и программного обеспечения периферийных модулей исследуемого микроконтроллера.

Литература

1. **Работа** с микроконтроллерами семейства HC(S)08 / Х. Крейдл, Г. Куприс, Т.В. Ремизевич, Д.И. Панфилов; под ред. Д.И. Панфилова. М.: Издательство МЭИ, 2005. 444 с.
2. **Ахметвалеева Л.В., Кулагина Л.Г., Гафутдинов Р.Ш.** Исследование периферийных модулей микроконтроллера в программной среде LabVIEW // Инженерные и научные приложения на базе технологий *National Instruments NI Days – 2015*: Сборник трудов XIV международной научно-практической конференции, Москва, 27 ноября 2015 г. М.: ДМК пресс, 2015. С. 105—107.

КОРРЕКТОР КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ С ПРЯМЫМ ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ С ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕМ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

В настоящее время потребление электроэнергии характеризуется высокими требованиями к коэффициенту мощности вторичного источника электропитания. С целью повышения качества энергопотребления используются активные корректоры коэффициента мощности (ККМ), основанные на базе повышающего регулятора 2-го рода. Применение ККМ в составе источника вторичного электропитания (ИВЭП) помимо основной задачи позволяет также повысить общий КПД ИВЭП.

Традиционные ККМ могут работать в граничном или непрерывном режиме пульсаций в цепи переменного тока. Граничный режим применяется в преобразователях мощностью до 100 Вт. При мощностях выше 100 Вт отдается предпочтение ККМ с непрерывным режимом работы. Для каждого из этих режимов работы ККМ существуют специальные интегральные схемы управления — контроллеры ККМ. Контроллеры ККМ реализуют только один из режимов управления: граничный или непрерывный.

Развитие микропроцессорных систем управления в преобразовательной технике позволяет разработать корректор коэффициента мощности с прямым цифровым управлением, возможностью смены режима работы ККМ. Микропроцессорная система управления позволит при малых нагрузках использовать граничный режим или вообще отключать ККМ для повышения КПД системы, а при увеличении тока нагрузки переходить в непрерывный режим.

Решения ККМ с прямым цифровым управлением дают множество преимуществ, включая устранение погрешностей, обусловленных разбросом параметров компонентов и их старением. Вместо подбора внешних компонентов для настройки ККМ оптимизированы параметры алгоритма управления для достижения высокоэффективных рабочих характеристик.

Внедрение микропроцессорной системы управления ККМ позволяет также реализовать сервисные функции: сбор и передачу информации о текущем потреблении, дистанционное задание установочных значений, возможность модульной реализации при совместной работе нескольких ИВЭП.

Е.М. Духнич, асп.; рук. П.А. Воронин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ СТОЙКА КЛЮЧЕЙ С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ И СИММЕТРИЧНОЙ СХЕМОЙ ФИКСАЦИИ

В настоящее время существует проблема выбора ключей для мощных высоковольтных преобразователей. Применение современных одиночных полупроводниковых приборов ограничено максимально допустимыми напряжениями в закрытом состоянии. Они составляют 12 кВ для однооперационных тиристоров, 6,5 кВ для IGBT и двухоперационных тиристоров и 4,5 кВ для тиристоров с электростатическим управлением (ТЭУ) [1]. Поэтому в высоковольтных схемах необходимо использовать последовательное соединение ключей.

На практике обычно применяются последовательные сборки IGBT или IGCT, что соответственно сопровождается увеличением статических потерь или требует разработки относительно сложной системы управления. Применяемые в этих случаях методы выравнивания напряжений на элементах сборок приводят либо к снижению КПД всего устройства, либо к дополнительному усложнению системы управления.

Предлагается новая высоковольтная стойка из последовательно соединенных ТЭУ, управляемая одним низковольтным МДП-транзистором. Каждая пара ключей в стойке является составным ключом с полевым управлением, который обладает сниженными статическими и динамическими потерями [1]. Причем все ТЭУ в стойке имеют одинаковое напряжение отсечки, формируемое автоматически, что освобождает от необходимости применения драйвера с высоковольтной изоляцией.

Для выравнивания напряжений на элементах стойки предлагается симметричная схема фиксации, состоящая из нескольких стоек фиксирующих диодов. Аноды диодов в данных стойках подключены к затворам соответствующих ТЭУ, а катоды – к встречно-параллельным диодам нагрузки. Максимальные напряжения на всех элементах схемы, включая диоды, одинаковы, что не обеспечивалось в известных ранее технических решениях [2]. Такая схема фиксации позволяет использовать в высоковольтном устройстве ТЭУ и диоды одного класса напряжения, что положительно сказывается на его технико-экономических показателях.

Литература

1. **Оптимизация** статических и динамических параметров мощного составного ключа с полевым управлением / П.А. Воронин, И.П. Воронин, Д.И. Панфилов, Е.М. Духнич // Известия академии наук. Энергетика. 2016. № 4.

2. **Патент** на полезную модель RU 152692 U1. Высоковольтное силовое полупроводниковое устройство. / И.П. Воронин, П.А. Воронин, Д.И. Панфилов, А.А. Вербицкая. Бюл. № 16. 10.06.2015.

К.В. Ермакова, студ.; рук. Е.Е. Чаплыгин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МАТРИЧНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С ЦИКЛИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫХОДНОГО НАПЯЖЕНИЯ

В матричном преобразователе частоты каждая фаза трехфазного входного напряжения связана с каждой фазой трехфазной нагрузки с помощью двухпроводящего транзисторного ключа (рис. 1). Выходное напряжение состоит из отрезков фазных напряжений питающей сети (рис. 2). Исследуется циклический метод формирования выходного напряжения.

Регулирование выходного напряжения осуществляется широтным способом. Для этого организуется нулевая пауза, во время которой все фазы нагрузки подключаются к одной фазе питающей сети. Ток сети имеет прерывистый характер. Преобразователь позволяет регулировать частоту основной гармоники выходного напряжения как ниже, так и выше частоты сети. Для исследования электромагнитных процессов в матричном преобразователе создана спектральная модель, которая позволяет получить временные диаграммы и спектры напряжений и токов на входе и выходе преобразователя.

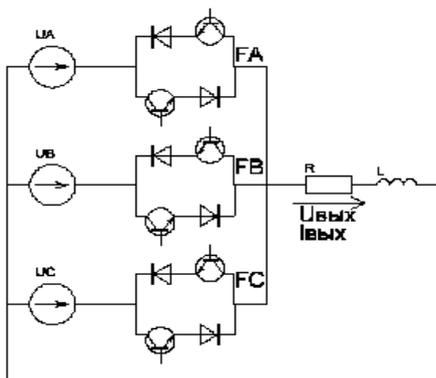


Рис. 1. Схема преобразователя



Рис. 2. Кривая выходного напряжения

И.И. Журавлёв, студ.; рук. Д.А. Серёгин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ РЕЖИМА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МОЩНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Современные устройства силовой электроники – импульсные преобразователи электроэнергии — имеют рабочую частоту порядка десятков и сотен килогерц.

Существуют аналитические методы расчета процессов в дросселях и трансформаторах преобразователей [1], в том числе учитывающие свойства магнитного материала сердечников. При этом значительное внимание уделяется случаю синусоидальных токов и напряжений. Хотя эти методы, в принципе, и позволяют рассчитать процессы при несинусоидальной (прямоугольной, треугольной) форме токов и напряжений обмоток, такой расчет практически удастся провести только для достаточно простых случаев. Для реальной схемы аналитически учесть влияние всех существенных процессов в трансформаторе или дросселе удастся редко, особенно с учетом взаимного влияния процессов во всей силовой схеме преобразователя и процессов в высокочастотном дросселе или трансформаторе. Для таких расчетов рационально применение численного имитационного моделирования.

Для моделирования выбран мощный мостовой преобразователь постоянного напряжения с применением двух линейных дроссель-трансформаторов [2]. Они служат для обеспечения потенциальной развязки источника питания и нагрузки преобразователя, согласования уровней напряжения, а также в качестве элементов выходного сглаживающего фильтра. В потоке подмагничивания сердечников дроссель-трансформаторов присутствуют как постоянная составляющая, так и высокочастотная составляющая. Токи обмоток, кроме того, имеют форму прямоугольных импульсов. Поэтому поставленная задача применительно к данной схеме представляется весьма актуальной. Корректный расчет режима при разработке преобразователя позволяет провести рациональный выбор элементов схемы, обеспечить низкие потери мощности и высокий КПД преобразователя.

Литература

1. **Горский А.Н.** Расчет электромагнитных элементов источников вторичного электропитания. М.: Радио и связь, 1988. 176 с.; ил.
2. **Ляхов М.Ю.** Сравнительный анализ характеристик перспективных DC/DC преобразователей // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов XIX междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. В 4 т. Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2013.

ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ДОРОЖНОЙ МАШИНОЙ

В настоящее время сложно представить нашу жизнь без использования различных дорожных машин. Для управления машинами такого типа используется электронная система управления спецоборудованием, которая предназначена для управления гидравлическим, электрическим и прочим специальным оборудованием, входящим в состав комбинированной дорожной машины. В общем случае система должна быть снабжена защитой от аварийных режимов, вызванных неправильным подключением к бортовой сети – несоблюдение полярности, превышение допустимой мощности и коротким замыканием подключаемой нагрузки, а также вызванных снижением уровня масла в гидросистеме до критического значения. Также необходимо, чтобы система позволяла вести учет времени наработки специального оборудования, а также контролировать текущее значение тока потребления каждого узла.

Цель работы — создание системы управления комплексом навесного оборудования, приборами освещения и сигнализации комбинированной дорожной машины. Система (рис. 1) состоит из панели управления системой, которая устанавливается в кабине машины, кабеля интерфейса, осуществляющего передачу команд в блок коммутации, собственно блока коммутации для непосредственного управления силовыми агрегатами машины с помощью силовых кабелей.



Рис. 1. Структурная схема устройства

На данный момент разработан полностью работоспособный тестовый образец устройства. Ведутся исследования по наиболее рациональным схемотехническим решениям, способным как повысить эффективность и надежность устройства, так и сделать его наиболее выгодным в экономическом плане.

МОБИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО МОНИТОРИНГА ПРИСУТСТВИЯ

В настоящее время системы безопасности и мониторинга присутствия действенны только на определенной территории и являются в большинстве своем стационарными. Предложенная концепция устройства позволит уведомлять пользователя о присутствии посторонних лиц в пределах 10—20 м от устройства при нахождении его за пределами постоянного места пребывания.

Устройство базируется на микроконтроллере Atmega328 и представляет собой совокупность инфракрасных датчиков движения типа HC-SR501, заключенных во влагозащищенный корпус с круговым обзором [1]. Корпус имеет гибкие крепления для возможности позиционирования его на различных поверхностях, внутри корпуса располагается плата управления, Bluetooth-модуль, 4 сервопривода и аккумулятор с величиной 1000 мА·ч. Корпус оснащен 4 светодиодами для индикации состояния датчика.

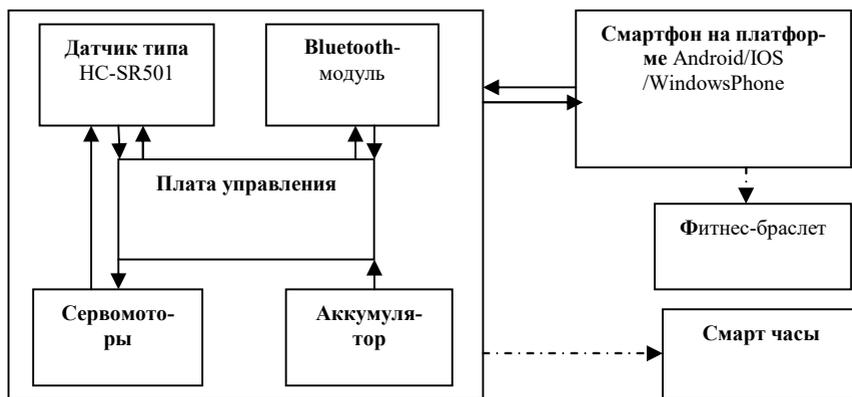


Рис. 1. Структурная схема устройства

Устройство управляется с помощью приложения на смартфоне на базе Android/IOS/Windows Phone, сигнал поступает на смартфон либо подключенный к нему фитнес-браслет/смарт часы.

Программное обеспечение для устройства написано на языке C# с применением фреймворка Xamarin [2].

Литература

1. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega. Руководство пользователя. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007.
2. Джон Скит C#. Программирование для профессионалов. М.: Apress, 2015.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ РЕЛЕ

В настоящее время в силовой электронике все чаще возникают ситуации, когда пользователю помимо использования реле времени и импульсного реле необходимо взаимодействовать с их комбинациями, учитывая возможности настройки их параметров [1].

Предложенное устройство представляет собой АСУ Реле — мощное интеллектуальное реле. Алгоритм работы этого реле программируется производителем или пользователем с помощью специального программатора. АСУ Реле может выполнять различные функции: реле времени, импульсное реле, монитор напряжения и другие.

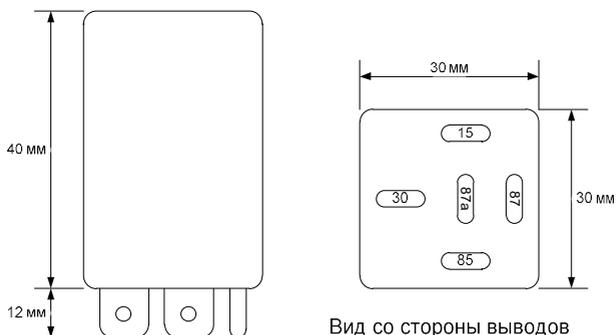


Рис. 1. Габариты и номера выводов устройства

Мощная контактная группа АСУ Реле способна коммутировать до 25 А в стандартном исполнении («С»), до 40 А в исполнении с высокой мощностью («М»).

На данный момент АСУ Реле выпускается с номинальным рабочим напряжением 12/24 В.

АСУ Реле базируется на микроконтроллере Atiny25 компании Atmel и программируется посредством специального АСУ-программатора, куда пользователь помещает реле и с помощью специализированной программы «АСУ Конфигуратор» загружает прошивку, созданную с помощью упрощенного языка программирования, сравнимого по структуре с языком релейно-контактной логики [2]. Более подробную информацию вы можете получить на сайте nse-online.com.

Литература

1. Третьяков М.Н. Электронные реле и их применение. М.: Инфра-М, 2014.
2. Джон Скит С#. Программирование для профессионалов М.: Apress, 2015.

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СТАБИЛИЗАТОРОВ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Для стабилизации переменного напряжения широко используются источники переменного напряжения. Существует множество схемных решений данной задачи, однако все внимание в исследованиях было направлено именно на реализацию высокостабильного выходного напряжения, а процессы, протекающие в самих схемах, форма потребляемых токов и напряжения на элементах в схемах остались неизученными до конца.

Изучались схемы (на рис. 1 изображена схема, которой уделялось наибольшее внимание), в основе которых лежит принцип импульсного регулирования переменного напряжения [1]. Созданы спектральные модели в системе Mathcad и проанализированы гармонические составы токов потребления, напряжений и токов реактивных элементов, ключей. В системе MatLab созданы модели рабочего режима схем с двумя способами контроля выходного напряжения: отслеживанием действующего значения и наблюдением за мгновенным значением. На основе результатов моделирования сделаны выводы о режимах работы элементов в данных схемах, а также о влиянии схем на первичный источник нестабильного переменного напряжения.

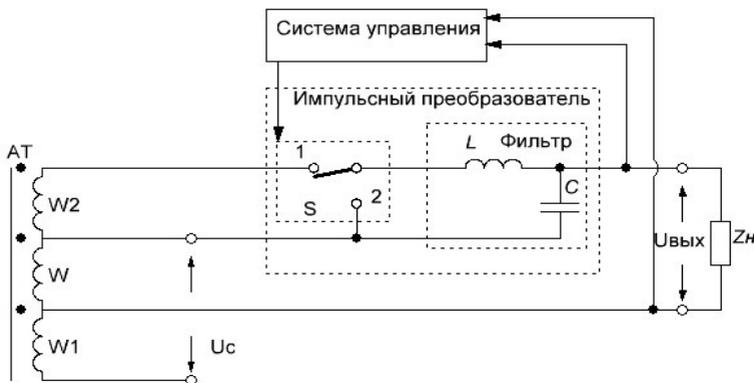


Рис. 1. Структура одной из схем стабилизации переменного напряжения

Литература

1. Коршунов А.И. Стабилизация напряжения переменного тока // Электротехника. 2016. № 4.

*В.Д. Ковалёв, М.Г. Степанов, А.А.Черняков, А.В. Ковалёв,
Е.Ю. Фёдорова, студенты; рук. А.А. Каткова, асс.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

РАЗРАБОТКА БЛОКА КОНТРОЛЯ ВИБРАЦИИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В настоящее время в различных сферах производства устаревшее промышленное оборудование, управляемое непосредственно человеком, заменяется высокотехнологичными автоматизированными системами, способными с большей точностью и производительностью выполнять заданные в программе операции. Такие системы обладают высокой стоимостью и сложностью, поэтому выход из строя одной из составляющих оборудования может повлечь серьезные повреждения всей системы и последующий дорогостоящий ремонт.

Для исправления ситуации необходимо разработать блок контроля вибрации для промышленного оборудования с интерфейсом подключения к ПК. Полученное устройство должно отличаться от существующих решений низкой стоимостью и универсальностью использования.

В качестве источника сигнала выберем датчик вибрации, измеряющий колебания в трех плоскостях. Такой датчик имеет три выхода, на которых формируется аналоговый сигнал [1]. Для преобразования сигнала в цифровой используем по одному АЦП для каждого канала. После преобразования оцифрованный сигнал в потоковом режиме записывается в микросхемы памяти. Далее микропроцессор по заданной программе обрабатывает сохраненные в памяти данные [2].

В режиме диагностики процессор передает данные на ПК, где с помощью программы обработки информация о вибрации представляется в необходимом для пользователя виде. Блок контроля вибрации передает на ПК все данные, полученные с датчика вибрации, что позволяет получить любую необходимую информацию о состоянии оборудования, и в зависимости от поставленной задачи необходимым образом провести обработку сигнала.

Также устройство может работать в автономном режиме, если это задано программой. В этом случае блок контроля сохраняет данные в памяти, к которой можно получить доступ после соединения с компьютером.

Литература

1. Алтухов А.Л., Алтухова Л.Н., Шимонин А.В. Применение вибродиагностики в условиях функционирования системы технического обслуживания и ремонта оборудования // Омский научный вестник. 2012. № 3 (113). С. 109—111.
2. Хоровиц П. Искусство схемотехники: справочное руководство. М.: Мир, 2011.

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ОТОБРАЖЕНИЯ КОММУТАТОРА АНАЛОГОВЫХ И ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ОТЛАДКИ ПРОЕКТОВ АСУ ТП

В данной работе приведен проект комплекса средств отображения коммутатора аналоговых и дискретных сигналов для разработки и отладки проектов АСУ ТП на базе систем ОВЕН и Siemens, позволяющего упростить изучение работы программируемых логических контроллеров и устройств сопряжения с ними.

Коммутация сигналов служит для того, чтобы сигналы, поступающие от нескольких источников, объединялись в определенном порядке в одной линии. Затем эти сигналы обрабатываются и при помощи другого коммутатора могут быть направлены в различные исполнительные устройства. Упорядоченный ввод и вывод сигналов осуществляется, как правило, при помощи адресации источников и приемников сигналов, а также связанных с передачей сигналов коммутаторов.

Коммутатор состоит из двух блоков: аналогового и дискретного ввода, аналогового и дискретного вывода. На один из аналоговых входов контроллера поступает напряжение в диапазоне от 0 до 5 В. На один из дискретных входов поступает сигнал знака (0 — положительное напряжение, 1 — отрицательное). Также необходимо осуществить оцифровку напряжения к диапазону от -0 до $+5$ В и вывод на LCD-дисплей.

В качестве микроконтроллера был выбран ATmega328 на базе Arduino Nano [1]. Чтобы входной сигнал был пригоден для восприятия МК, его необходимо преобразовать. Для начала необходимо привести дифференциальный сигнал к потенциальному. Для этого используется операционный усилитель NE5532P.

На LCD-дисплей выводится два сигнала: аналоговый Abs (AI) (в диапазоне от 0 до 5 В) и дискретный MAI (0 или 5 В).

Для отображения информации был выбран LCD-дисплей WH1602B-УУК-СТК. Данный монохромный дисплей имеет опциональную подсветку и может отображать 2 строки по 16 символов [2].

Литература

1. **FLProg** — визуальное программирование Arduino для не программистов [Электронный ресурс] URL: <http://flprog.ru/>
2. **LCD** (ЖК) индикаторы. [Электронный ресурс] URL: <http://www.freeduino.ru/arduino/LCD.html>

О.Е. Михалёв, студ.; рук. П.А. Рашитов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТРЕХФАЗНЫМ ИНВЕРТОРОМ ДЛЯ МОРСКИХ СУДОВ НА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ

В современной системе электроснабжения морских судов первичным источником электроэнергии зачастую являются электроагрегаты, строящиеся по принципу: первичный двигатель (дизель, паровые или газовые турбины) с электрическим генератором. Большинство судовых потребителей электроэнергии питаются переменным током 380 В (силовые потребители) с частотой 50 Гц.

Однако существует ряд потребителей в судовой аппаратуре, которым необходимы источники вторичного электропитания с переменным током повышенной частоты 400 Гц. Источники вторичного электропитания для такой аппаратуры, по сути, представляют собой преобразователи частоты сети из 50 в 400 Гц. Структура такого источника вторичного электропитания состоит из последовательного соединения следующих узлов: сеть — неуправляемый мостовой выпрямитель с фильтром — DC/DC преобразователь с гальванической развязкой — трехфазный инвертор напряжения с синус-фильтром с выходным напряжением 220 В (линейное) повышенной частоты 400 Гц.

Регулирование и стабилизация выходного напряжения преобразователя частоты осуществляется в цепи постоянного тока, а именно стабилизацией напряжения на требуемом уровне на выходе DC/DC преобразователя. Трехфазный инвертор напряжения в этом случае работает в режиме «классической» ШИМ с коэффициентом модуляции, близким к единице, что способствует улучшению гармонического состава и снижению требований к выходному синус-фильтру.

Реализация управления трехфазным инвертором напряжения в этом случае может строиться на микроконтроллере с невысокой тактовой частотой около 20 МГц, обладающем минимум тремя ШИМ каналами. В современной отечественной микропроцессорной элементной базе таким требованиям может удовлетворить микроконтроллер фирмы «Миландр» K1986BE92.

Наличие микропроцессорной системы управления трехфазным инвертором позволит не только реализовать основную задачу — управление ключами инвертора, но и даст возможность реализации сервисных функций — оцифровки сигналов на входе и выходе инвертора с последующей передачей по интерфейсу RS-485 в удаленную систему сбора информации.

*Д.В. Оплеухин, студ.; рук. Н.Н. Строев, к.т.н., доц.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

РАЗРАБОТКА ПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ДЕТЕКТОРОВ T ERASENSE

Миллиметровый диапазон становится все более интересным и начинает использоваться в различных сферах радиотехники. Однако слабое развитие элементной базы тормозит распространение аппаратуры данного диапазона.

В последнее время появился новый класс приемных детекторов ТГц диапазона, который использует плазменные колебания в полупроводниковых структурах и резонансную селекцию сигналов. Разработанные Институтом физики твердого тела РАН детекторы имеют высокую чувствительность в миллиметровом диапазоне и пикосекундное быстродействие, что позволяет создавать приемные устройства с прямым преобразованием энергии.

В ходе проведенных экспериментов были подтверждены справочные параметры, указанные производителем, и выявлены некоторые технические проблемы использования. Для работы на крайне высоких частотах СВЧ диапазона [1] требуется хорошее согласование между детектором и усилителем, что довольно трудно реализовать исходя из выходной характеристики указанного детектора, не обеспечивающего стабильность импеданса. Для решения этой задачи были исследованы различные схемы усилителей [2], проведен выбор наиболее приемлемых решений.

Применение скоростного ОУ оказалось неэффективным решением, так как необходимый коэффициент усиления (δ) не был стабильно получен в заданных рабочих диапазонах изменения импеданса детектора, однако в обязательном порядке требуется учет этого явления при построении схем. Наиболее хороший результат был получен при использовании усилителя, обычно применяемого с оптоэлектронными приемными устройствами, так как характеристики детектора во многом напоминают характеристики фотодиода, работающего в фотогенераторном режиме.

Литература

1. Хилл У., Хоровиц П. Искусство схемотехники. Т.2. М.: Радио и связь, 2000. С. 248.
2. Соколова Ж.М. Приборы и устройства СВЧ, КВЧ и ГВЧ диапазонов. Томск, 2012. С. 282.

М.И. Петров, асп.; рук-ли Д.И. Панфилов, д.т.н., проф.;
П.А. Рашитов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОПОЛОГИЙ СХЕМ ПАССИВНЫХ МАЛОГАБАРИТНЫХ УСТРОЙСТВ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ

Возможной альтернативой традиционным устройствам FACTS (по ряду направлений их функциональной деятельности) являются устройства SmartWire, где преобразование энергии в системе осуществляется малогабаритными устройствами продольной компенсации — МУПК.

В общем виде можно выделить два типа возможной реализации МУПК — пассивные и активные. Пассивные МУПК в своем составе не содержат полупроводниковых ключей силовой электроники с повышенной частотой коммутации. Предложены два вида пассивных МУПК: DSR (DistributedSeriesReactance) — распределенный последовательный реактанс либо индуктивного, либо емкостного характера. DSI (DistributedSeriesImpedance) — распределенный последовательный импеданс может вносить в линию сопротивление как индуктивного, так и емкостного характера. Второй вид пассивного МУПК (DSI) может быть реализован на основе двух топологий схем — емкостно-индуктивного МУПК и двухконденсаторного МУПК. Исходя из названия различие данных топологий схем заключается в наличии разных реактивных элементов в одной из ветвей. При этом возможны четыре режима работы для каждой из схем, три из которых идентичны (внесение в линию $X_{\text{НОМ}}$ индуктивного характера, $2-3 X_{\text{НОМ}}$ как индуктивного, так и реактивного характера). Особенность 4-го режима определяет различие схем, а именно: в емкостно-индуктивном МУПК 4-й режим примерно идентичен режиму внесения $X_{\text{НОМ}}$ (в линию вносится $X_2 < X_{\text{НОМ}}$), учитывая то, что для работы в этом режиме необходимо подключать ветвь с индуктивностью, а это приводит к уменьшению КПД схемы; следует вывод, что из возможных четырех режимов эффективными будут только три. С другой стороны, в 4-м режиме двухконденсаторного МУПК в зависимости от величины емкостей C_1 и C_2 в линию можно вносить сопротивление или индуктивного, или емкостного характера, которое может отличаться от $X_{\text{НОМ}}$ как в большую, так и в меньшую сторону, что дает большую вариативность данной топологии.

Был рассмотрен КПД каждой топологии, было выявлено преимущество КПД двухконденсаторного МУПК в сравнении с емкостно-индуктивным МУПК. Рассмотрены массогабаритные параметры каждой топологии, было выявлено, что массогабаритные параметры двухконденсаторной топологии лучше.

Д.В. Пискарёва, студ.; рук. Д.А. Серёгин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ В МОЩНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ С НИЗКОВОЛЬТНЫМ ПИТАНИЕМ

Одной из основных проблем, возникающих при проектировании мощных импульсных преобразователей постоянного напряжения с низковольтным питанием, является обеспечение вывода энергии из паразитных индуктивностей монтажа и индуктивности рассеяния трансформатора [1, 2]. Для мощного преобразователя амплитуда коммутируемых токов может составлять сотни ампер. Поэтому даже энергия, накопленная в паразитной индуктивности вывода элемента, имеет существенное значение. Вывод этой энергии в источник или в нагрузку с реализацией коммутации ключа по принципу коммутации при малом или нулевом [2, 3] токе существенно снижает потери мощности. Это, в свою очередь, позволяет повысить КПД преобразователя.

В работе проведен анализ применения схемотехнических решений, обеспечивающих коммутацию при малом или нулевом токе силового ключа и вывод энергии из индуктивности рассеяния трансформатора. Рассматривается схема двухтактного преобразователя напряжения с запирающим силовым ключом при нуле тока, что обеспечивается за счет вспомогательной резонансной цепи. При этом форма тока основного силового ключа мало отличается от прямоугольной. Однако требуется введение в схему дополнительных элементов, через которые также протекают значительные токи.

Такое техническое решение сравнивается с применением резонансных и квазирезонансных преобразователей, в которых также достигается снижение коммутационных потерь за счет снижения тока запирающего силового ключа. В работе проведен аналитический расчет потерь в основных силовых ключах и вспомогательных элементах, позволивший сопоставить технические решения преобразователей и определить области их рационального применения. Проведено численное имитационное моделирование работы преобразователей, подтвердившее результаты расчетов.

Литература

1. **Мелешин В.И.** Транзисторная преобразовательная техника. М.: Техносфера, 2006.
2. **Справочник** по силовой электронике/ Ю.К. Розанов, П.А. Воронин, С.Е. Рывкин, Е.Е. Чаплыгин. М.: Издательский дом МЭИ, 2014.
3. **Воронин П.А., Воронин И.П.** Составные резонансные ключи с активным разделением фронтов и алгоритмы их коммутации // Практическая силовая электроника. 2016. № 3. С. 8—15.

ОДНОКАСКАДНЫЙ АС-DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С КОРРЕКЦИЕЙ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Обеспечение требований по электромагнитной совместимости (МЭК IЕ-1000-3-2) диктует необходимость использования корректора коэффициента мощности для преобразователей напряжения мощностью более 4 кВт. В преобразователях переменного напряжения промышленной частоты в постоянное напряжение для удовлетворения данного требования обычно используются многокаскадные схемы, первым звеном которых является корректор коэффициента мощности (ККМ), а вторым — DC-DC преобразователь. Общий коэффициент полезного действия двухкаскадной схемы определяется коэффициентом полезного действия каждого звена по выражению

$$\eta = \eta(1) \eta, \quad (1)$$

где $\eta(1)$ — КПД первого звена многокаскадной схемы; $\eta(2)$ — КПД второго звена многокаскадной схемы.

В работе рассматривается однокаскадная схема преобразователя (рис. 1) переменного напряжения сетевой частоты 50 Гц в постоянное напряжение с обеспечением трансформаторной развязки.

Применение данной схемы позволяет формировать переменное высокочастотное напряжение на первичной обмотке силового трансформатора. Алгоритм коммутации транзисторных плеч моста позволяет за счет изменения скважности работы ключей формировать синусоидальную огибающую потребляемого тока сети, а также проводить регулирование выходного напряжения преобразователя.

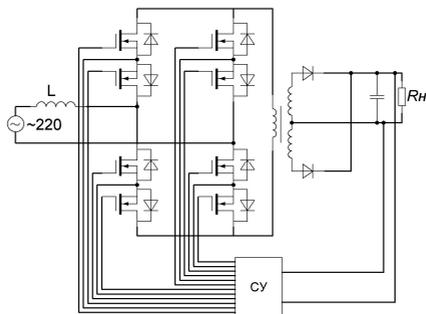


Рис. 1. Структурная схема однокаскадного АС-DC преобразователя

Проведенное моделирование показало работоспособность решения и его высокие энергетические характеристики по сравнению с классическими схемами преобразователей переменного напряжения в постоянное. Ведется разработка макета мощностью 4 кВт. Получены первые результаты, которые подтверждают предварительные расчеты.

А.С. Силин, студ.; рук. Е.Е. Чаплыгин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ СЕТЕВОЙ АКТИВНЫЙ ФИЛЬТР

В энергетике часто приходится сталкиваться с ситуацией невыполнения требований ГОСТ относительно качества электроэнергии. Например, нефтегазодобывающая станция, оборудование которой требует для функционирования напряжения по ГОСТ Р 54149: сеть трехфазная 35 кВ, 2 МВт. Источник питания для данного предприятия находится на большом удалении (100 км), в итоге на вход нефтегазодобывающей станции подается напряжение 35 кВ (20÷40 %), коэффициент гармоник хуже в 3 раза, чем предписано ГОСТ Р 54149.

В данной работе проведено исследование в области активной фильтрации сетевого напряжения. Активный фильтр построен на базе так называемых Н-ячеек (рис. 1) [1], в состав каждой из которых входят четыре силовых транзистора и конденсатор. Ячейки соединены последовательно, что позволяет использовать IGBT-транзисторы. Последовательный фильтр в таком исполнении не требует трансформатора и может подключаться напрямую в сеть [2].

Система управления построена по принципу многозонной ШИМ. Система управления отслеживает напряжение на входе, сравнивает с уставкой и подает сигналы управления на ключи таким образом, чтобы напряжение

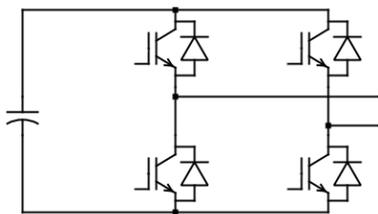


Рис. 1. Н-ячейка многоуровневого преобразователя

фильтра компенсировало искажения сети и реактивную мощность линии. Также система управления стабилизирует напряжение на конденсаторах ячеек. В исследовании используются методы спектрального моделирования.

Литература

1. **Rashid М.Н.** Power Electronics Handbook, 2011.
2. **Зиновьев Г.С.** Силовая электроника. М.: Юрайт, 2012.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ДИЗЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОАГРЕГАТА

Дизель-генераторные установки (далее ДГУ) применяются в промышленности, строительстве, сельском и коммунальном хозяйствах. Они работают везде, где необходима электроэнергия, а сеть либо удалена, либо работает с перебоями. Современные дизельные электроагрегаты комплектуются щитами управления различной степени автоматизации, которые обеспечивают три типа функций:

1) управления режимами работы (пуск, останов, аварийное автоматическое отключение);

2) контроля выходных электрических параметров (действующие значения токов нагрузки трех фаз; действующее значение и частота генерируемого напряжения; полная, активная и реактивная мощности);

3) контроля параметров агрегата (в том числе давление масла, температуры, уровень топлива, сопротивление изоляции).

В целом все эти функции можно разделить на два основных блока: блок управления дизельным электроагрегатом и блок отображения и мониторинга параметров сети.

Блок управления принимает сигналы с датчиков, осуществляет измерение частоты, реализует алгоритмы пуска и останова, также следит за возникновением аварийных состояний, выполняет обмен информацией с блоком отображения и мониторинга параметров сети, а также с удаленным устройством.

Блок отображения и мониторинга проводит измерение аналоговых сигналов трехфазного напряжения сети, ДГУ, тока нагрузки; реализует алгоритмы токовой защиты, перехода на питание нагрузки от ДГУ и обратно на сеть при ее восстановлении, управляет импульсным регулятором напряжения для питания блока индикации стабилизированным пониженным напряжением, отображает информацию о действующих значениях фазного, линейного напряжения, тока, активной мощности, полной мощности и частоте напряжения, также выполняет обмен информацией с блоком управления двигателем.

Разработана алгоритмическая реализация всех указанных функций средствами двух контроллеров MC9S08SG32. Обмен данными между ними осуществляется с помощью интерфейса I2C, также предусмотрен интерфейс RS-485 для связи с удаленным устройством.

Е.Ю. Фёдорова, А.А. Черняков, М.Г. Степанов, В.Д. Ковалёв,
А.В. Ковалёв, студенты; рук. Н. Н. Строев, к.т.н., доц.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)

УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ ШИМ КОНТРОЛЛЕРА

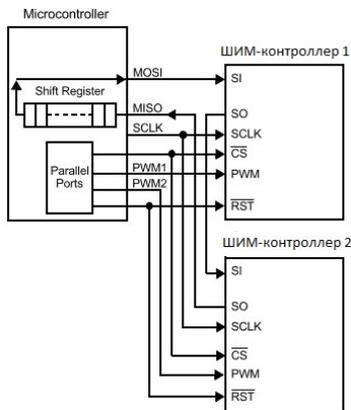


Рис. 1. Обеспечение функции управления ШИМ по интерфейсу SPI

2) связан с физическим переносом охлаждающего вещества, 3) связан с отводом энергии за счет теплового излучения. Наиболее часто используют сочетание радиаторов и активных систем вентиляторного типа [2].

В качестве метода регулирования целесообразно выбрать цифровую широтно-импульсную модуляцию. Этот метод гораздо экономичнее линейного регулирования с последовательным элементом и легко стыкуется с микроконтроллерной системой управления [1].

При ШИМ регулировании скорость вращения зависит от среднего значения напряжения импульсной последовательности заданной амплитуды и установленной скважности. На рис. 1 показано обеспечение функции управления ШИМ по интерфейсу SPI.

Литература

1. Улитенко А.И., Гуров В.С., Пушкин В.А. Принципы построения индивидуальных систем охлаждения электронных приборов и устройств. М.: Горячая линия-Телеком, 2012.
2. Дячек П.И. Насосы, вентиляторы, компрессоры: учебное пособие. М.: Издательство АСВ, 2013.

Целью данной работы является разработка системы охлаждения на основе ШИМ контроллера.

Существует несколько механизмов переноса тепла. Первый – с помощью радиаторов, отводящих тепло за счет собственной хорошей теплопроводности. Второй механизм — для эффективного охлаждения организуется циркуляция вещества при контакте с охлаждаемой поверхностью. Третий вариант связан с отводом энергии за счет теплового излучения. При этом наиболее важной характеристикой является излучательное свойство поверхности.

При реализации систем охлаждения может использоваться один из этих механизмов: 1) с помощью радиаторов,

ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД В СОСТАВЕ МАЛОГАБАРИТНОГО УСТРОЙСТВА ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ

Рассмотрена схема (рис. 1) и техническая реализация источника питания собственных нужд (ИПСН) в составе малогабаритного устройства продольной компенсации [1].

ИПСН состоит из трансформатора, первичной обмоткой которого является провод линии электропередачи, а к вторичной обмотке подключен полупроводниковый преобразователь. Основной функцией системы управления, построенной на релейном принципе регулирования, является поддержание выходного напряжения на постоянном уровне. Для уменьшения потерь в транзисторах VS1 и VS2 в цепь затвора включены резисторы R1 и R2, обеспечивающие режим активного выпрямления для транзисторов. Выделено два режима работы преобразователя:

- режим инжекции;
- режим байпас.

Разработана имитационная модель преобразователя, позволяющая рассчитывать установившиеся процессы в схеме на периоде работы сети. Изготовлена физическая модель ИПСН, получены осциллограммы работы преобразователя, совпадающие с результатами имитационного моделирования.

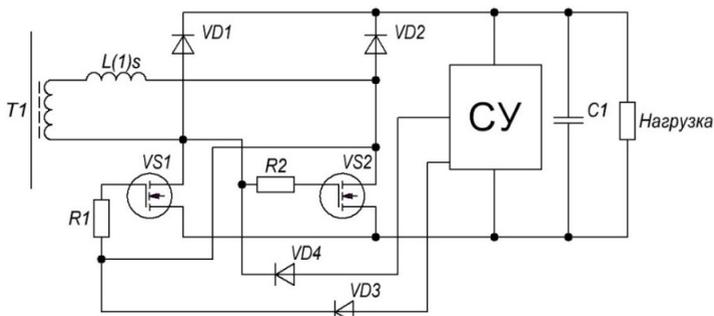


Рис. 2. Схема ИПСН

Литература

1. V. Narasimha Murthy, P. Bhaskar Prasad, K. Harinath Reddy. Application of Distributed Static Series Controller (DSSC) Modified with Fuzzy Logic and ANFIS Controllers as Auxiliary Controller in Extenuation of Sub-Synchronous Resonance. International Journal of Engineering Research and Development // IEEE. 2014. Vol. 10. P. 18—26.

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МНОГОКАНАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

В основе работы любого электронного устройства лежат различные преобразования электрической энергии, поэтому для обеспечения нормального функционирования таких устройств прежде всего необходимы источники энергии. На сегодняшний день на долю источников электропитания приходится от 30 до 70 % общей массы и объема аппаратуры РЭА [1].

Целью данного проекта являются разработка и анализ линейного источника питания с использованием серийного унифицированного многообмоточного трансформатора [2]. Применение унифицированного трансформатора вместо заказного и позволяет значительно понизить себестоимость источника питания. В качестве исследуемой схемы рассматривалась схема многоканального источника питания (рис. 1), где ТР — силовой трансформатор, $C_T U$ — линейный стабилизатор, а «Нестаб 1» и «Нестаб 2» — два нестабильных канала.

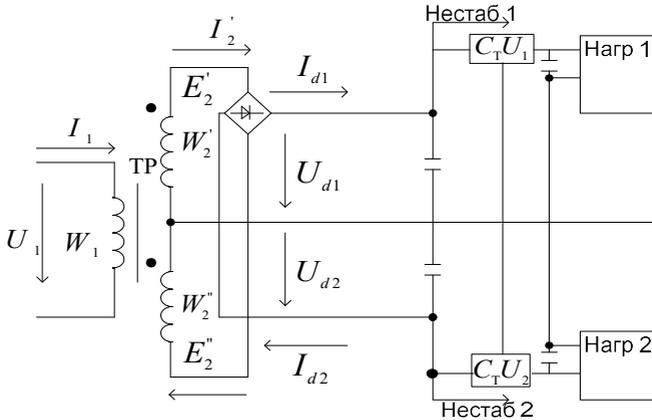


Рис. 1. Структурная схема многоканального источника питания

Литература

1. **Абраменкова И.В., Ширяев А.О.** Проектирование и расчет линейных источников питания устройств промышленной электроники: учебное пособие. Смоленск: РИО филиала ГОУВПО «МЭИ(ТУ)» в г. Смоленске, 2008. 72 с.
2. **Борисов П.А., Томасов В.С.** Расчет и моделирование выпрямителей: учебное пособие. Часть I. СПб: СПб ГУ ИТМО, 2009. 169 с.

Секция 11

ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Председатель секции — д.т.н., профессор А.М. Гуляев

Секретарь секции — к.т.н., доцент И.Б. Варлашов

Д.К. Барчукова, студ.; рук. Э.Н. Воронков, д.ф.-м.н., проф.
(НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ХАРАКТЕРУ ИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРОБОЯ

Целью работы был поиск методов контроля параметров солнечных элементов. На сегодняшний день существует разработка пригодных для автоматизации методов контроля тех свойств СЭ, которые не контролируются стандартными методиками. Все чаще стали применяться стрессовые воздействия, способствующие раннему проявлению дефектов. Одним из недостатков контроля с помощью таких воздействий является то, что они требуют сравнительно длительных испытаний при значительных затратах времени, поскольку требуют использования климатической камеры. Этому испытанию могут быть подвергнуты только небольшие выборки, и заключение о ненадежности распространяются на всю партию.

В данной работе на основе имеющихся в литературе данных рассматриваются возможности прогнозирования выхода СЭ из строя, идентификации дефекта по виду характеристики без его лабораторного исследования. Это важно для полевого мониторинга панелей и их элементов.

На основе проведенного исследования сделан вывод, что существуют, по крайней мере, три вида пробоя, вызванного различными дефектами, которые дают различные характеристики. Для выявления дефектов предлагается использовать измерения на начальных участках пробоя в импульсных режимах без разрушения или деградации прибора. Характеристики после их нормирования сравниваются со стандартной нормированной характеристикой хорошего прибора и по типу отклонения проводится идентификация дефекта.

Литература

1. Воронков Э. Н., Москвичёв В. Ю. Прогнозирование предельного срока службы солнечных батарей по данным их мониторинга // Промышленная энергетика. 2015. № 11.
2. Chen J. C. Physics of solar energy. Jown Willey & Sons, Inc, 2011.

А.И. Васькин, студ.; рук. П.И. Акимов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЧАСТОТНАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ КОЛЕБАНИЙ МАГНЕТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Существенное влияние на частотную стабильность генерируемых колебаний оказывает тепловой режим анодного блока.

Зная распределение температуры вдоль ламели, можно определить увеличение длины ламели и связанное с ним увеличение длины волны. В первом приближении относительное увеличение длины волны можно считать равным относительному увеличению длины ламели [1]:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta l_{\text{л}}}{l_{\text{л}}} = \alpha_{\text{м}} \Delta T, \quad (1)$$

где $\alpha_{\text{м}}$ — температурный коэффициент линейного расширения материала; ΔT — изменение температуры.

Изменение длины волны вызывает изменение частоты генерируемых колебаний. Для оценки стабильности работы магнетрона с требуемыми модулирующими импульсами был проведен расчет температуры в рабочем пространстве магнетрона. Рассматривалось значение температуры на ближнем к катоду конце ламели резонаторной системы.

Расчет теплового режима импульсного магнетрона проводился путем суперпозиции температурных полей по методике, изложенной в [2].

Были получены результаты для резонаторных систем из меди с медными и молибденовыми ламелями. Дальнейший анализ выявил недостатки ламелей из меди. Испарения с поверхности и объема ламелей приводят к нарушению состояния вакуума внутри анодного блока, существует вероятность пробоя между катодом и анодом, низкий запас температурной прочности. Для резонаторной системы с ламелями из молибдена расчетное значение частотной стабильности колебаний увеличилось в два раза. Воспроизводимость частоты колебаний и качество анодных блоков оказываются не хуже, чем в блоках целиком из меди. Проведенные измерения на установке низкого уровня мощности показали, что существуют благоприятные условия для возникновения и распространения волны рабочего вида колебаний.

Литература

1. **Шлифер Э.Д.** Расчет многорезонаторных магнетронов. — 2-е изд. М.: МЭИ, 1966.
2. **Самсонов Д.Е.** Основы расчета и конструирования многорезонаторных магнетронов. М.: Советское радио, 1966.

ТРАНСПОРТИРОВКА ПУЧКА С НАЧАЛЬНЫМ ЭЛЛИПТИЧЕСКИМ СЕЧЕНИЕМ

В последнее десятилетие появляется множество работ, направленных на создание различных СВЧ-приборов с ленточными пучками. Информация об электронно-оптических системах встречается лишь в некоторых из них, причем, как правило, она представлена рисунками, иллюстрирующими результат использования трехмерных программ траекторного анализа.

Линейная компрессия L в ряде работ при этом достигает очень высоких значений ($L \gtrsim 30$), что требует достоверного расчета величин порядка $1/30$. С запасом на порядок программы анализа должны иметь ошибку, не превышающую десятых долей процента.

В литературе не встречаются методические исследования, гарантирующие подобную точность численных моделей с учетом адекватного описания окрестности катода и оси пучка. В работе с использованием методов геометризованной теории интенсивных пучков [1] построена расчетная модель сходящегося в пушке эллиптического пучка, получено изменение компрессии пучка (рис. 2) по одной полуоси при заданном аналитической функции распределении потенциала на оси. Вторая ось пучка не компрессировалась.

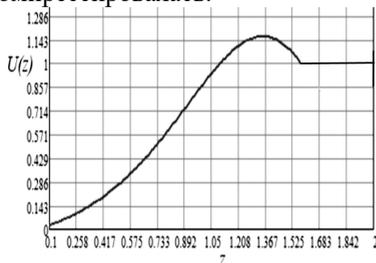


Рис. 1. Распределение потенциала на оси пучка

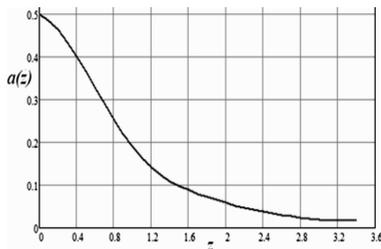


Рис. 2. Компрессия пучка по одной полуоси

Потенциал U на оси с учетом прикатодной асимптотики при эмиссии в р-режиме задается уравнением

$$U = \left(\frac{9J}{2}\right)^{2/3} z^{4/3} \left(1 + \frac{8}{15} T_0 z\right) + \bar{U}(z), \quad \bar{U} \sim z^{10/3},$$

где J — плотность тока; T_0 — начальная кривизна катода.

Литература

1. Сыровой В.А. Теория интенсивных пучков заряженных частиц. Нью-Йорк: ELSEVIER, 2011. P. 714.

*В.С. Генералов, А.С. Драгунова, студенты, А.Д. Баринов, асп.;
рук. А.И. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ПАРАМЕТРЫ ГЛУБОКИХ УРОВНЕЙ КРЕМНИЙ-УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК

Кремний-углеродные пленки получают плазмохимическим разложением кремний-органического вещества (полифенилметилсилоксана — ПФМС) [1]. Как показали структурные и электронно-микроскопические исследования [2], материал находится в аморфном состоянии. Одним из способов управления свойствами аморфных пленок является структурная модификация, которая представляет собой изменение структуры материала при постоянстве химического состава.

В процессе синтеза пленок имеется возможность менять напряжение смещения подложкодержателя, а также вводить в камеру инертный газ при различном парциальном давлении, что приводит к изменениям в электропроводности материала [3] на несколько порядков величины. Для исследования пленки получали две серии образцов: одна серия напылялась при напряжении смещения подложкодержателя –200, –400, –600 и –800 В без газа в камере, вторая серия напылялась при напряжении смещения подложкодержателя –200 В и давлении аргона 3×10^{-4} , 5×10^{-4} , 8×10^{-4} мм рт.ст.

В настоящей работе представлены сравнительные результаты исследования кремний-углеродных пленок методом зарядовой релаксационной спектроскопии глубоких уровней (ЗРСГУ, Q-DLTS) и электропроводности в области высоких электрических полей. Рассмотрено изменение электропроводности материала с точки зрения структурной модификации на уровне подсистемы дефектов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-07-00147а).

Авторы выражают благодарность М.Л. Шупегину за изготовление образцов.

Литература

1. **Наноструктурирование** пленок металлсодержащих кремний-углеродных нанокompозитов / А.И. Попов, М.Ю. Пресняков, М.Л. Шупегин, А.Л. Васильев // Российские нанотехнологии. 2014. № 5—6.
2. **Presniakov M., Popov A., Vasiliev A.** Electron microscopy of the effect of heat treatment on the structure of metal containing nanocomposites with silicon-carbon matrix // Journal of Physics Conference Series. 2013. 471. 012036.
3. **Barinov A.D., Popov A.I., Presniakov M.Y.** Modification of properties of silicon-carbon nanocomposites // Journals of Nanoelectronics and optoelectronics. 2014. Vol. 9. No 6.

Т.О. Жданкина, студ.; рук. Е.В. Зенова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ В АВТОНОМНЫХ НАНОСХЕМАХ

Развитие мировой экономики и повышение уровня жизни базируются на развитии принципиально новых технологий, решающих основные проблемы современного производства. Ключевую роль в создании нового технологического уклада [1] будут играть нанотехнологии и новые способы генерации, преобразования, хранения и распределения энергии между потребителями.

Современные мобильные устройства нуждаются в накапливаемом носителе энергии с большой емкостью, малыми размерами, быстрым временем зарядки, обладающем возможностью быстрой отдачи накопленной энергии (высокой мощностью). Этим условиям наилучшим образом отвечают конденсаторные накопители. В связи с этим растет спрос на конденсаторы с диэлектриком, обладающим высокой диэлектрической проницаемостью (суперконденсаторы).

В работе анализируется проблема энергообеспечения автономных нанообъектов. На основе выполненного анализа показано, что для устройств мониторинга оптимальным для обеспечения надежного функционирования в течение длительного периода является использование энергонезависимой памяти, суперконденсаторов и бесконтактной связи с внешним источником энергии. Рассмотрены современные технологии производства диэлектриков для суперконденсаторов [2]. Особое внимание уделено нанокompозитам на основе диэлектриков. Рассмотрены возможные способы повышения их пробивного напряжения [3].

В работе приведены соответствующие модели и основные результаты расчетов.

Литература

1. **Глазьев С.Ю.** Теория долгосрочного технико-экономического развития. М.: Влад-Дар, 1993.
2. **Md Rajib, MAI Shuvo, H. Karim, D. Delfin, S. Afrin, Y. Lin.** Temperature influence on dielectric energy storage of nanocomposites. DMR-1205302. UTEP. 2014.
3. **Marin S. Halper, James C. Ellenbogen.** Supercapacitors: A Brief Overview. MP 05W0000272. MITRE. 2006.

Т.А. Костикова, Д.С. Рассказа, студенты; В.А. Смолин, асп.;
рук. И.В. Якименко, д.т.н., проф. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)

СХЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОБСТВЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОБЛАЧНОЙ АТМОСФЕРЫ В ДИАПАЗОНЕ 1,5–2 МКМ

Собственное ИК-излучение облачной среды сегодня изучено мало, и в то же время оно важно для решения задач параметризации состояния облачной атмосферы, навигации и передачи информации через ее толщ [1].

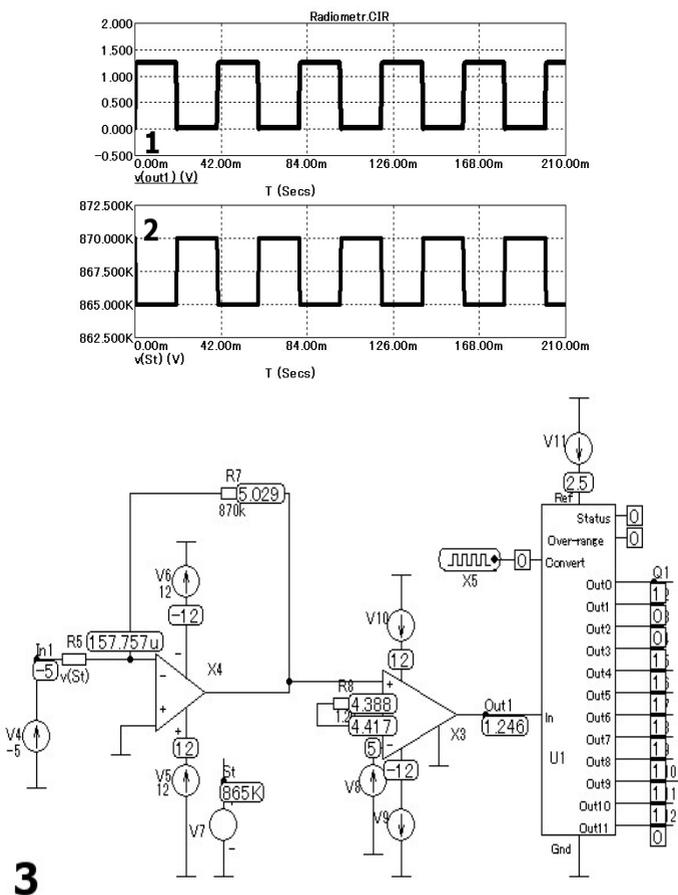


Рис. 1. График изменения напряжения (1) на выходе схемы (3) и сопротивления фоторезистора (2) в зависимости от освещенности объекта

Для решения этой задачи разрабатывается схема, которая позволит расширить сведения об излучении на ИК-участке облачной атмосферы. Лучистый поток, принимаемый радиометром, с помощью объектива направляется на приемник энергии и одновременно модулируется по амплитуде с помощью вращающегося обтюратора, частота вращения которого составляет 25 Гц. В результате его вращения на фоторезистор ФС-А1 попеременно направляется то освещенность исследуемого объекта, то освещенность окружающей среды. Нахождение разности двух этих значений позволяет нивелировать влияние внешних условий на результат измерения. Поскольку диапазон изменения напряжения составляет сотые доли вольта, для удобства исследования сигнал с фоторезистора предварительно усиливается (рис. 1).

Рабочее напряжение фоторезистора находится в диапазоне от 4 до 40 В, поэтому в устройстве на фоторезистор подано напряжение 5 В.

Разработанная схема предусиления сигнала с фоторезистора реализована на практике, работоспособна и позволяет судить об энергетической яркости исследуемого объекта в диапазоне волн 1,5—2 мкм.

Литература

1. **Якименко И.В.** Методы, модели и средства обнаружения воздушных целей на атмосферном фоне широкоугольными оптико-электронными системами. СПб.: Лань, 2014. 176 с.

ВЛИЯНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ГАЗОВЫХ СЕНСОРОВ, ОСНОВАННЫХ НА ПЛЕНКАХ ОКСИДОВ ОЛОВА И ТЕРБИЯ

Нами были проведены исследования влияния освещения на чувствительность нанокристаллических пленочных сенсоров состава $\text{SnO}_2:\text{Tb}:\text{Sb}$ (до 15—20 весовых % Tb), полученных реактивным магнетронным нанесением [1], [2].

Для экспериментов в качестве реагента использовался изопропиловый спирт, а в качестве источников излучения светодиоды красного (590—660 нм), желтого (560—610 нм), синего (390—550 нм) и УФ (370—420 нм) диапазонов при рабочих температурах сенсоров в интервале от 150 до 300 °С. При освещении сенсоров светодиодами синего и УФ диапазонов было обнаружено явление фотоэффекта со снижением сопротивления сенсоров на 50—80 % в течение 1 минуты.

На рис. 1 приведено сравнение чувствительности сенсоров без освещения и при освещении указанными светодиодами для минимальной дозы изопропилового спирта, что соответствовало в случае изопропилового спирта дозе 48 ppm.

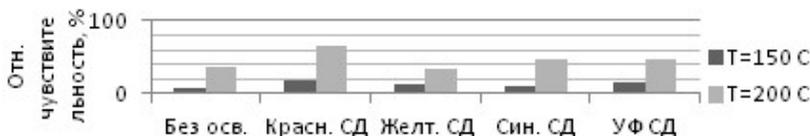


Рис. 1

Как следует из рисунка, максимальное усиление чувствительности в 1,7—2,5 раза наблюдается при освещении красным светодиодом. Небольшое усиление наблюдается и при наличии фотоэффекта, несмотря на повышение концентрации носителей заряда. При более высоких рабочих температурах усиление при указанной дозе реагента не наблюдается в связи с насыщением чувствительности

Литература

1. **Особенности** технологии и свойства тонкопленочных сенсоров на основе SnO_2 , полученных реактивным распылением / А.М. Гуляев, О.Б. Сарач, О.Б. Мухина и др. // Сенсор 2001 АНО «ИРИСЭН» С. 10—21.
2. **Повышение** чувствительности и избирательной способности газовых сенсоров на основе пленок SnO_{2-x} облучением светодиодами / А.М. Гуляев, Ван Ле Ван, О.Б. Сарач, О.Б. Мухина // Измерительная техника. 2008. № 6. С. 69—72.

И.С. Кузнецов, студ.; рук. П.И. Акимов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ОТРАБОТАВШИХ ЭЛЕКТРОНОВ В КОЛЛЕКТОРЕ МОЩНОГО МНОГОЛУЧЕВОГО КЛИСТРОНА

В вопросах проектирования мощных усилительных клистронов важную роль играют тепловые нагрузки на ключевых узлах прибора [1]. В приборе, работающем в режиме больших мощностей, важно учитывать изменение температуры на теплонагруженных элементах. Наиболее теплонагруженным узлом является коллектор прибора, модель которого представлена на рис. 1. Для расчета теплового режима коллектора необходимо провести траекторный анализ распределения отработавших электронов по поверхности токоприемных камер. При отсутствии оптимального распределения электронов по поверхности токоприемной камеры могут возникнуть локальные участки нагрева этой поверхности и, как следствие, ее прожигание и выход прибора из строя.

Характеристики прибора:

- прибор сантиметрового диапазона;
- анодное напряжение — 43 кВ;
- выходная мощность — 3 МВт;
- количество лучей — 26.

Расчет оседания электронных пучков в парциальные коллекторы клистрона показал, что электроны распределяются неэффективно по поверхности токоприемных камер (рис. 2). Площадь осаждения электронов пучка на поверхность коллектора составила $286,51 \text{ мм}^2$, что является недопустимым результатом так как приведет к проплавлению поверхности коллектора. Введение изменений в конструкцию магнитного экрана коллектора позволило увеличить площадь осаждения до $596,9 \text{ мм}^2$ (рис. 3).

Литература

1. Алямовский И.В. Интенсивные электронные потоки. М.: МИРЭА, 1991.



Рис. 1 Трехмерная модель коллекторного узла прибора

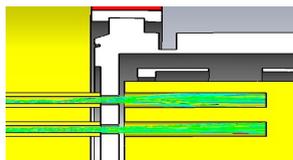


Рис. 2 Исходная конструкция магнитного экрана

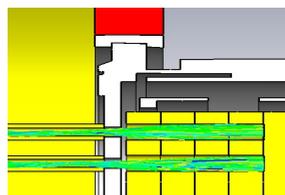


Рис. 3 Модифицированный магнитный экран

Я.С. Кумов, студ.; рук. М.Д. Воробьев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СИНТЕЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЛУКТУАЦИЙ ТОКА С ПОМОЩЬЮ БАЗОВЫХ ШУМОВЫХ КОМПОНЕНТ

Исследование шумов термоэлектронных катодов позволяет получить информацию о процессах, происходящих на поверхности катода, на основе которых можно предсказывать изменение параметров эмитирующей поверхности. При помощи устройства для измерения шумов электровакуумных приборов с термокатодом были получены спектральные характеристики флукутаций тока, отбираемого с катода. В [1,2] предложена модель, объясняющая появление шумов наличием дефектных слабоэмитирующих пятен на поверхности катода.

При анализе спектральных характеристик было замечено, что можно выделить три основные компоненты с разными частотными зависимостями: фликкерную, дробовую и так называемую релаксационную. В статье [1] выдвинута гипотеза, что информация, содержащаяся в релаксационной составляющей, связана с процессами, протекающими на поверхности катода (наличием дефектных пятен). Поэтому выделение составляющих такого типа (в общем случае нескольких) может дать количественную информацию о процессах на поверхности [2].

Ранее с помощью математического моделирования методом Монте-Карло были получены спектральные характеристики для дефектных пятен разного диаметра. Представив эти характеристики как базовые компоненты, используем их сочетания для синтеза изначально измеренной спектральной характеристики. Главной задачей является нахождение такой комбинации базовых компонент, при которой синтезированная характеристика в наибольшей степени согласуется с экспериментальной спектральной характеристикой.

В результате по синтезированной шумовой характеристике оказывается возможным найти размеры и количество дефектов.

Литература

1. **Электрофлукутационная** диагностика металлопористых катодов / М.Д. Воробьев, О.Ю. Масленников, Д.Н. Юдаев и др. // Вакуумная, твердотельная и плазменная электроника. 2010. №1. С. 6—12.
2. **Юдаев Д.Н.** Поверхностно-диффузионная модель низкочастотных шумов контактов // Материалы VII Международной научно-техн. конф. INTERMATIC – 2009. Ч. 2. М.: МИРЭА, 2009.

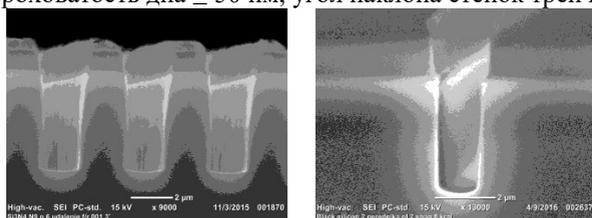
ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТРАВЛЕНИЯ КРЕМНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КАНАВОК В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРАНШЕЙНЫХ МОП-ТРАНЗИСТОРОВ

При изготовлении вертикальных МОП-транзисторов по траншейной технологии (*TrenchMOS*) [1] встает задача формирования канавок под затвор в кремнии. Для решения этой задачи применяются такие методы плазмохимического травления, как *Pseudo Bosch*-процесс [2] и метод «черного кремния» [3].

Исследование заключается в подборе параметров травления для обоих методов и сравнении их характеристик (скорости, анизотропии и селективности травления).

Снимки РЭМ (растрового электронного микроскопа) протравленных канавок *Pseudo Bosch*-процессом и по методу «черного кремния» приведены на рис. 1.

Ширина канавок, полученных *Pseudo Bosch*-процессом, составляет 1,7—2 мкм, методом «черного кремния» — 1,2—1,5 мкм. Для обоих режимов глубина канавок составляет 4,0—4,5 мкм, шероховатость стенок ≤ 50 нм, шероховатость дна ≤ 50 нм, угол наклона стенок тренча 87—89°.



а) б)
Рис. 1. *Pseudo Bosch*-процесс (а); метод «черного кремния» (б)

Литература

1. **Jayant Baliga B.** Fundamentals of Power Semiconductor Devices. USA: North Carolina State University, 2008.
2. **Michael David Henry.** Icp Etching Of Silicon For Micro And Nanoscale Devices. California Institute Of Technology Pasadena. California, 2010.
3. **Henri Jansen, Meint de Boer, Rob Legtenberg and Miko Elwenspoek.** The black silicon method // Journal of Micromechanics and Microengineering. 1999. 5(2):115.

К.Г. Поповских, асп.; рук. А.И. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

КОМПЛЕКСНОЕ СРАВНЕНИЕ ДЕГРАДАЦИИ ТЕСТОВЫХ n - И p -КАНАЛЬНЫХ МДП ТРАНЗИСТОРОВ КМОП ИС ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫСОКОПОЛЕВЫХ СТРЕССОВ

Разработанный и реализованный в НИУ «МЭИ» программно-аппаратный комплекс электрофизических методов [1] позволяет применить широкий спектр методик для исследования состояния МДП транзисторов, в том числе выходные, передаточные, подпороговые ВАХ, методы зарядовой накачки (ЗН) [2] и т. д.

На основе созданного комплекса было проведено исследование особенностей и различий деградации n - и p -канальных МДП транзисторов при проведении стрессов в режиме максимума тока подложки [3].

Транзисторы были подвержены серии стрессов с измерением всех доступных характеристик на каждой ступени в серии стрессов. По измеренным характеристикам были рассчитаны плотности поверхностных состояний (ПС) и их распределения под затвором транзистора, деградация порогового напряжения, деградация токов утечки. Собранные данные были использованы для построения качественно-количественной модели «эволюции» деградации транзисторов, в которой присутствуют такие этапы деградации, как:

- постепенный рост плотности ПС (при малых напряжениях стресса);
- сдвиг характеристик вдоль оси напряжения (при повышенных напряжениях стресса);
- необратимый пробой транзистора (при критических напряжениях стресса).

Полученные данные могут быть использованы для подробного исследования и доработки конструктива транзисторов с целью повышения их надежности и срока службы.

Литература

1. **Поповских К.Г., Солдатов В.С., Орешков М.В.**, Программно-аппаратный комплекс для электрофизического контроля КМОП-технологии на тестовых структурах // Измерительная техника. 2016. № 9.
2. **Groeseneken G., Maes H.E., Beltrán N.**, A reliable approach to charge-pumping measurements in MOS transistors // IEEE Trans. ED. 1984. Vol. 31.
3. **Hori T.** Gate Dielectrics and MOS ULSIs. Springer. Berlin Heidelberg. 1997.

И.Р. Ризванов, асп.; рук. И.Н. Мирошникова, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ К ГЕТЕРОСТРУКТУРАМ AlGaN/GaN

Транзисторы на основе AlGaN/GaN гетероструктур с высокой подвижностью электронов перспективны для создания высокочастотных, высокотемпературных электронных приборов с повышенной мощностью. Важную роль при их создании играет получение омических контактов, которые должны иметь низкое электрическое сопротивление, ровную морфологию поверхности и четкие границы краев.

Целью данной работы было исследование влияния некоторых технологических особенностей, в частности дополнительной обработки в кислородной плазме поверхностей гетероструктур AlGaN/GaN перед напылением системы металлов Ti/Al/Ni/Au [1] на свойства формируемых омических контактов. Также определялось оптимальное соотношение толщин двух нижних слоев Ti и Al для получения качественных омических контактов. В качестве исходных образцов использовались гетероструктуры AlGaN/GaN, выращенные методом MOCVD на сапфировой подложке. Экспериментально показано, что соотношение толщин первых двух слоев композиции Ti-Al-Ni-Au определяет характер реакций, которые протекают между слоями металлов в процессе отжига, и может усиливать или ослаблять взаимодействие Ti с материалом гетероструктуры с образованием слоя TiN. Исследованиями методом POP было показано, что обработка поверхности в O₂ плазме приводила к упорядочению структуры поверхности полупроводника и уменьшению количества точечных дефектов, при этом не происходило внедрения атомов кислорода в тончайшие поверхностные слои полупроводника. Плазменная обработка убирала также тонкий диэлектрический слой окисла Ga₂O₃. Все это способствовало усилению реакции Ti:Al с материалом гетероструктуры в процессе последующего отжига. Экспериментально было показано, что использование кислородной плазмы приводило к снижению величины удельного контактного сопротивления.

Литература

1. **Si-induced** enhancement of ohmic performance of Ti/Al/Mo/Au metallisation for AlGaN/GaN HEMTs / F.M. Mohammed, L. Wang, H.J. Koo and I. Adesida // ELECTRONICS LETTERS. 18th August 2005. Vol. 41. No. 17. P. 984.

МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ МОЩНОГО СВЧ ТРАНЗИСТОРА НА БАЗЕ ГЕТЕРОЭПИТАКСИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ AlGaIn/GaN НА ПРОБИВНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

Современный уровень СВЧ радиоэлектронных предъявляет жесткие требования к приемопередающим модулям, являющимся основой данных устройств. Для реализации данных требований необходим переход на новую элементную базу, а именно СВЧ транзисторы на гетероэпитаксиальных структурах AlGaIn/GaN. Большая ширина запрещенной зоны E_g и соответственно большие напряжения пробоя, высокая слоевая концентрация электронов и высокая скорость электронов делают эту гетеросистему чрезвычайно перспективной для мощных СВЧ приборов.

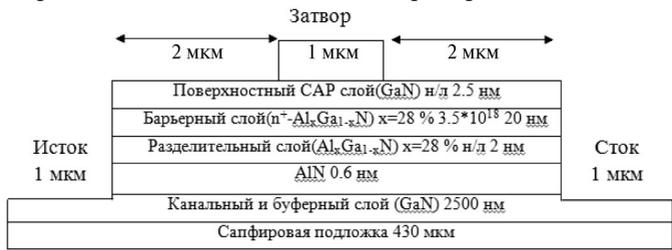


Рис. 1. Структура транзистора

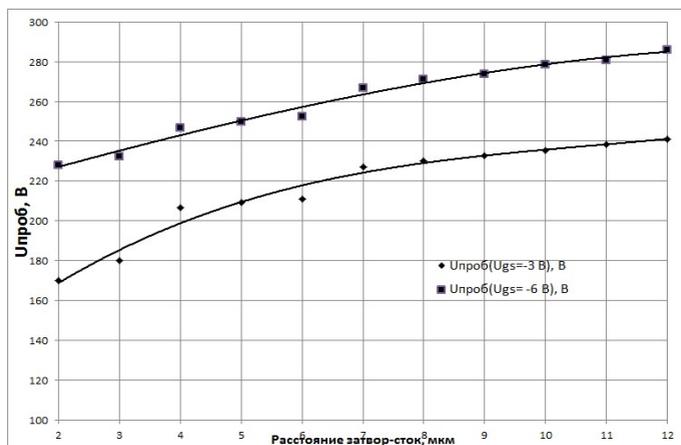


Рис. 2. Зависимость пробивного напряжения от расстояния затвор-сток

Целью данной работы является модельное исследование влияния геометрии транзистора на структуре AlGaN/GaN на пробойное напряжение. (рис. 1). Данный прибор был разработан в АО «ГЗ «Пульсар». С помощью моделирования в пакете программ ISE TCAD необходимо было решить следующие задачи: получить вольт-амперные характеристики для моделей с разными расстояниями затвор-сток (от 2 до 12 мкм), по полученным вольт-амперным характеристикам определить величину пробивного напряжения. В ходе исследований была получена зависимость величины напряжения пробоя от расстояния затвор-сток (рис. 2). Из анализа полученных графиков можно сделать вывод, что с увеличением расстояния затвор-сток у исследуемой структуры с 2 до 12 мкм наблюдается рост пробивного напряжения $\Delta U_{\text{проб}} \approx 57$ В при напряжении на затворе $U_{\text{gs}} = -6$ В и $\Delta U_{\text{проб}} \approx 71$ В при напряжении на затворе $U_{\text{gs}} = -3$ В. В ходе моделирования были подобраны следующие неконтролируемые параметры транзистора: величина плотности поверхностного заряда $7,6 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ и величина концентрации поверхностных ловушек $1,9 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

А.Н. Синельников, А.Н. Синельникова; учащиеся лицея №1502
при МЭИ; рук. М.А. Осина, к.х.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОРТАТИВНЫЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ГАММА-СПЕКТРОМЕТР

В настоящее время сцинтилляционный метод является одним из наиболее распространенных способов регистрации и спектрометрии ядерных излучений [1—3].

Целью работы являлось создание портативного гамма-спектрометра, конкурентоспособного по отношению к современным промышленным приборам и позволяющего решать стандартные задачи гамма-спектрометрии.

В ходе работы разработаны электрическая схема прибора, микропрограммное обеспечение и программное обеспечение для персонального компьютера. Замена электровакуумного фотоумножителя (ФЭУ) на кремниевый ФЭУ позволила минимизировать размеры гамма-спектрометра.

Проведена первичная калибровка прибора по светотехническим составам, содержащим Ra-226, калийному удобрению на основе KCl и электродам WT-20с добавкой тория Th232. Достигнуто энергетическое разрешение, соответствующее паспортным характеристикам кристалла (NaI (Tl), разрешение по Cs-137: 8,6 %).

Изучена стабильность энергетических характеристик прибора во времени.

Для целевых измерений радиоактивности использовали монацитовый песок (г. Щелкино, Крым), в котором обнаружены изотопы ^{232}Th и уран (рис. 1).

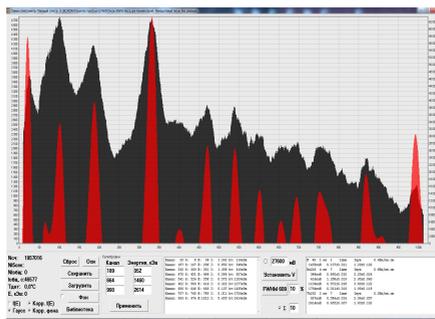


Рис. 1. Спектр монацитового песка с коррекцией кривой энергетической чувствительности

Литература

1. Bin Samat, Supian; Green, Stuart; Beddoe, Alun H. (1997). The ^{40}K activity of one gram of potassium // *Physics in Medicine and Biology*. **42** (2): 407.
2. Gordon R. Gilmore Practical Gamma-Ray Spectrometry — 2nd edition, John Wiley & Sons (2008) 145–148.
3. E.M. Becker, A.T. Farsoni Wireless, low- cost, FPGA-based miniature gamma ray spectrometer // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 761 (2014) 99–104.

М.Г. Степанов, А.А. Черняков, В.Д. Ковалёв, А.В. Ковалёв,
Е.Ю. Фёдорова, студенты; рук. С.А. Амелин, к.т.н., доц.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЗАПУСКА МДП-ТРАНЗИСТОРОВ

В настоящее время при разработке различных устройств используют МДП-транзисторы, в процессе которого практически не обойтись без имитационного моделирования. Однако это не всегда представляется возможным.

Одна из причин заключается в том, что в настоящее время отсутствуют SPICE библиотеки отечественных мощных МДП-транзисторов, соответственно их нужно создать. Для этого необходимо узнавать параметры каждого транзистора в отдельности. Поскольку самих отечественных транзисторов немало, снимать характеристики каждого из них при помощи цифровых осциллографов слишком затратно [1].

Чтобы измерить время фронта, можно использовать два компаратора и счетчик, подключенные к стоку МДП-транзистора. Для получения значения времени нужно измерить интервал времени от $0,1E_{п}$ до $0,9E_{п}$ [2].

Результат измерения должен выводиться в таком виде, который будет удобен пользователю. Временные диаграммы работы устройства представлены на рис. 1.

Поскольку требуется узнать только одну физическую величину, ее удобно выводить, к примеру, на текстовый ЖК-индикатор. Управлять ЖК-индикатором можно с использованием микроконтроллера и с его же помощью проводить вычисления (двоичные данные 8-разрядного счетчика).

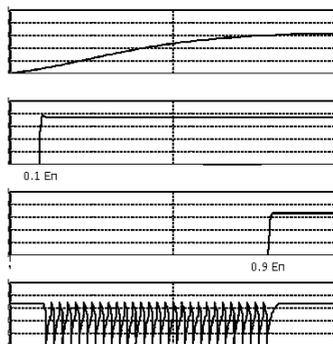


Рис. 1. Временные диаграммы работы устройства

Литература

1. Амелин С.А. Проблемы создания SPICE-моделей ШИМ-контроллеров источников вторичного электропитания // Сборник трудов V Международной научно-технической конференции: В 2 т. Смоленск: Филиал НИУ «МЭИ», 2015. С. 243—245.
2. Хоровиц П. Искусство схемотехники: справочное руководство М.: Мир, 2011.

С.В. Сурков, студ.; рук. П.И. Акимов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАБОЧАЯ КАМЕРА ЦИКЛИЧЕСКОГО СВЧ ДЕФРОСТЕРА

Пищевая промышленность России ежегодно перерабатывает миллионы тонн замороженного мяса и рыбы. Наиболее эффективными системами размораживания при этом являются так называемые СВЧ дефростеры.

Многообразие геометрических размеров и форм обрабатываемых диэлектриков, различие их электрофизических свойств затрудняет создание универсальных СВЧ камер. В каждом конкретном случае приходится определять конструкцию камеры СВЧ нагрева [1]. Наиболее эффективно это возможно сделать с помощью программ 3D-моделирования процесса микроволнового нагрева, например, CSTMWS.

Суть исследований заключалась в следующем: необходимо подобрать габариты камеры, размеры лопастей диссектора, положения блоков так, чтобы уменьшить пятна локального перегрева мясного и рыбного блоков в камере дефростера, сохраняя при этом относительно небольшой коэффициент отражения на входах в волноводы.

В ходе работы были проведены расчеты спроектированной модели, в результате которых определялись КСВн, распределение потока энергии внутри камеры дефростера, распределение локального тепловыделения в мясном и рыбном блоках, по которому рассчитывался коэффициент равномерности прогрева исходной продукции.

Оптимизация показала, что для размораживания заданных блоков лучше всего подходит диссектор, имеющий следующие параметры: длина 310 мм, ширина 80 мм, толщина 2 мм, расстояние от верхней стенки камеры дефростера 80 мм. Оптимальные габариты камеры при этом 1000×1000×1000 мм, причем в ходе расчетов выяснилось, что рыбный блок при размораживании необходимо располагать перпендикулярно задней стенке камеры, а мясной — параллельно. Коэффициент равномерности прогрева в подобранной конструкции камеры лежит в пределах 0,9—0,95. Таким образом, можно сделать вывод, что СВЧ камера и конструкция дефростера универсальны, т.е. подходят как для размораживания мясных, так и для размораживания рыбных блоков, несмотря на существенные различия в диэлектрических свойствах и габаритах. Во всех приведенных расчетах КСВн не превышал допустимый уровень (2—3), что гарантирует стабильную работу магнетронов и долговечность конструкции.

Литература

1. **Окресс Э.** СВЧ-энергетика. Применение энергии сверхвысоких частот в промышленности. М.: Мир, 1971. 272 с.

Д.Ю. Терехов, асп., Д.В. Пепеляев, студ.;
рук. А.А. Шерченков, д.т.н., проф. (НИУ «МИЭТ»)

ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА НА КОЭФФИЦИЕНТ ЗЕЕБЕКА ТОНКИХ ПЛЕНОК СОЕДИНЕНИЙ, ЛЕЖАЩИХ НА ЛИНИИ КВАЗИБИНАРНОГО РАЗРЕЗА $\text{GeTe-Sb}_2\text{Te}_3$

В настоящее время актуальной задачей является разработка памяти нового поколения, одним из перспективных видов которой является фазовая память. В качестве программируемого материала в таких устройствах используются тонкие пленки соединений, лежащих на линии квазибинарного разреза $\text{GeTe-Sb}_2\text{Te}_3$. Однако для дальнейшей оптимизации технологии требуется знание особенностей механизмов переноса носителей заряда в тонких пленках материалов фазовой памяти, для чего необходимо детальное понимание их термоэлектрических свойств. В связи с этим целью данной работы являлось изучение влияния термообработки на термоэлектрические свойства тонких пленок соединений, лежащих на линии квазибинарного разреза $\text{GeTe-Sb}_2\text{Te}_3$.

В ходе работы был разработан программно-аппаратный комплекс (ПАК) для исследования температурных зависимостей термо-ЭДС тонких пленок материалов электронной техники. Для исследования влияния отжига на термо-ЭДС тонкие пленки отжигались в температурном диапазоне от комнатной температуры до $325\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 30 минут с шагом $25\text{ }^\circ\text{C}$.

На всех зависимостях можно выделить три температурных диапазона, что хорошо коррелирует с температурными зависимостями удельного сопротивления для тонких пленок $\text{Ge}_1\text{Sb}_4\text{Te}_7$; $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$; $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ [1]. В диапазоне от комнатной температуры до $100\text{ }^\circ\text{C}$ образцы имеют высокий коэффициент Зеебека. С увеличением температуры от 100 до $150\text{ }^\circ\text{C}$ происходит резкое уменьшение коэффициента Зеебека, связанное с кристаллизацией тонких пленок. Падение коэффициента Зеебека сопровождается резким уменьшением сопротивления исследуемых материалов.

Измерения термо-ЭДС показали, что для всех исследуемых материалов наблюдаются отрицательные значения коэффициента Зеебека, что свидетельствует о доминирующем дырочном типе проводимости.

Таким образом, разработан программно-аппаратный комплекс и исследованы температурные зависимости коэффициента Зеебека тонких пленок $\text{Ge}_1\text{Sb}_4\text{Te}_7$; $\text{Ge}_1\text{Sb}_2\text{Te}_4$; $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ в широком диапазоне температур, определен тип их проводимости.

Литература

1. A.O. Yakubov, D.Y. Terekhov, A.A. Sherchenkov et al. Journal of Physics: Conference Series 643 012104 (2015).

*Н.В. Торгачев, студ.; рук. Н.Н. Строев, к.т.н., доц.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ СВЧ МИКРОСХЕМ С ВЫСОКОЙ РАЗНИЦЕЙ НОМИНАЛОВ НАПРЯЖЕНИЙ

Применение микросхем СВЧ диапазона, как правило, требует использования многоуровневого питания со стабильными параметрами и последовательностью подключения. Для решения подобных задач требуется создание многоканальных стабилизированных источников электропитания.

Многоканальные источники для указанного применения выполняются на основе ИС стабилизаторов напряжения. Однако уровни выходных напряжений при этом сопоставимы с падением напряжения на регулирующих элементах стабилизаторов. При большом количестве каналов это ведет к значительному ухудшению КПД и значительным потерям мощности. В свою очередь, отвод мощности требует применения радиаторов и средств активного охлаждения, увеличиваются масса и габариты устройства [1].

Предложенное нами решение состоит в использовании последовательного понижения напряжений, причем в качестве исходного источника применен импульсный DC/DC преобразователь, обеспечивающий высокий КПД устройства и анализ уровней напряжений и токов, требуемых для питания комплекта СВЧ ИС.

В результате изучения современной компонентной базы был выбран стабилизатор напряжения с минимальным падением напряжения 0,5 В — TPS736xx [2]. При использовании этого стабилизатора или его аналогов можно избежать установки охлаждающих радиаторов в виду того, что рекомендованная производителем разность между входным и выходным напряжениями может составлять 0,5 В и выше.

Представленная структура электропитания использовалась нами при построении СВЧ передатчика, в котором необходимо было обеспечить 12 номиналов питания от +12 В до +1.2 В и ряда отрицательных напряжений, проверена ее работоспособность и стабильность.

Литература

1. Костиков В.Г. Парфенов Е.М. Шахнов В.А. Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование: учебник для вузов. М.: Горячая линия-Телеком, 2001. 344 с.

2. Datasheet [Электронный ресурс] URL: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps736.pdf>

*Д.Н. Туровский, студ.; рук-ли Ю.В. Ануфриев, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ»); В.Ю. Караулов (ООО «СЕРНИЯ»)*

УСТРОЙСТВО ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ВОЗДУХА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

При выполнении ряда технологических операций происходит выделение газов в воздушную среду и удаление его при помощи специализированных систем вентиляции. Обычно в качестве продуктов реакции выделяются углекислый газ CO_2 , метан CH_4 , кислород O_2 и другие ядовитые газы. В случае возникновения внештатной ситуации газовый состав воздуха в производственных помещениях изменяется. Для контроля газового состава воздуха производственных помещений используются газоанализаторы (ГА). Для химических, металлургических и других предприятий разработана универсальная система мониторинга воздуха АВУС-СКЗ [1]. На рынке имеется также очень большое количество автономных (не компьютеризированных), относительно недорогих ГА. Применению системы АВУС-СКЗ препятствует ее высокая стоимость. Будучи универсальной, система АВУС-СКЗ оказывается избыточной для малых лабораторий.

В докладе рассматриваются структурная схема, аппаратные и программные средства такой системы мониторинга с компьютеризированным ГА. В состав системы входят: ГА, персональный компьютер (ПК), устройство связи ГА с ПК. Предусмотрена возможность подключения до шести ГА АО НПП Дельта, имеющих стандартизированные выходы. Устройство сопряжения реализовано на микроконтроллере ATMEGA-8A семейства AVR [2]. Микроконтроллер связан с ПК посредством последовательного интерфейса RS-232. Микроконтроллер формирует информационные байты для этого интерфейса. В ПК запоминается информация о выходе контролируемых параметров за поле допуска с привязкой этих событий ко времени.

В докладе рассматривается состав и структура программных средств. Приводятся сравнительные стоимостные оценки универсального и упрощенного вариантов.

Литература

1. Система мониторинга окружающей среды АВУС-СКЗ. ОАО Авангард. <http://avangard-gas.ru>.
2. Предко М. Руководство по микроконтроллерам. Том 2. М.: Постмаркет, 2001.

И.С. Фролов, студ.; рук. П.И. Акимов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК В КОЛЛЕКТОРНОМ УЗЛЕ МОЩНОГО МНОГОЛУЧЕВОГО КЛИСТРОНА

При проектировании мощных усилительных многолучевых клистронов особое внимание уделяется температурным нагрузкам в рабочих узлах прибора. В приборе выделяются большие мощности, что приводит к изменению температуры на различных его элементах. При мощности порядка десятков и сотен ватт тепло обычно отводят при помощи радиатора, обдуваемого воздухом. При удельной мощности порядка киловатт и выше требуется принудительное жидкостное охлаждение — вода, антифриз. Под действием высоких температур коллектор может повредиться, и прибор выйдет из строя.

Характеристики прибора:

- прибор сантиметрового диапазона;
- выходная мощность $P_{\text{вых}} = 3$ МВт;
- количество лучей — 26;
- расход воды на охлаждение коллекторного узла — 25 л/с.

По результатам траекторного анализа оседания электронных пучков в парциальных коллекторах клистрона проведен тепловой расчет коллекторного узла. При расчете учитывалось принудительное водяное охлаждение коллектора. По результатам теплового расчета максимальная температура достигается на задней стенке парциальных коллекторов внешнего радиуса и составляет 201,69 °С (рис. 2). Таким образом, можно говорить о достаточном отводе тепла при заданном водяном охлаждении. Коллекторный узел прибора не деформируется, и прибор не выйдет из строя.



Рис. 1. Модель коллекторного узла

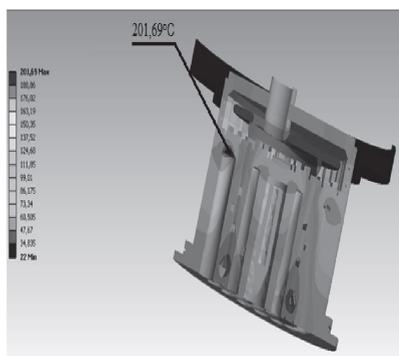


Рис. 2. Распределение температуры в коллекторе прибора

А.А. Черняков, Е.Ю. Фёдорова, М.Г. Степанов, В.Д. Ковалёв,
А.В. Ковалёв, студенты; рук. С. А. Амелин, к.т.н., доц.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КАНАЛА МДП-ТРАНЗИСТОРОВ

В настоящее время отсутствуют исчерпывающие технические данные на мощные МДП-транзисторы, выпускаемые отечественными производителями, а также SPICE-модели этих полупроводниковых приборов. Это затрудняет разработку электронных устройств, использующих эти транзисторы.

Для исправления ситуации необходимо разработать аппаратуру, способную в автоматическом режиме измерять параметры МДП-транзисторов и формировать библиотеку параметров SPICE-моделей [1]. В данной работе решается только часть этой задачи — определение остаточного сопротивления канала транзистора.

Для измерения сопротивления канала транзистора в открытом состоянии необходимо формировать импульс управления МДП-транзистором [2]. Соответственно устройство измерения остаточного сопротивления канала должно содержать формирователь импульсов, обеспечивающий формирование импульсов управления на затворе МДП-транзистора. Этот импульс должен быть синхронизирован с работой измерительного устройства. Измерения должны проводиться только в моменты, когда транзистор открыт. Временные диаграммы работы устройства представлены на рис. 1.

Таким образом, измерив напряжение на транзисторе и ток через открытый канал, можно найти его сопротивление, используя закон Ома $R = U_{\text{си}} / I_{\text{с}}$.

Литература

1. Амелин С.А. Проблемы создания SPICE-моделей ШИМ-контроллеров источников вторичного электропитания // Труды V Международной научно-технической конференции: В 2 томах. Смоленск: Филиал НИУ «МЭИ», 2015. С. 243—245.
2. Хоровиц П. Искусство схемотехники: справочное руководство М.: Мир, 2011.



Рис. 1. Временные диаграммы работы устройства

Т.С. Чуканова, Р.Р. Дехконов, студенты, А.Д. Баринов, асп.;
рук. А.И. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДИФИКАЦИЯ КРЕМНИЙ-УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК РАЗЛИЧНЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Металлсодержащие кремний-углеродные нанокomпозиты получают одновременным плазмохимическим разложением кремний-органического вещества (полифенилметилсилоксана, ПФМС) и магнетронным распылением металла [1]. Таким образом, нанокomпозит представляет собой диэлектрическую матрицу с наноразмерными включениями. Структурные и электронно-микроскопические исследования в режиме высокого разрешения показали [2], что кремний-углеродная матрица находится в аморфном состоянии, а металл, как правило, образует нанокристаллы своего карбида. Для таких материалов концентрационная зависимость электропроводности имеет вид, характерный для перколяционных систем.

В настоящей работе представлены результаты исследования влияния различных металлов на удельную электропроводность материала. В качестве металлов, вводимых в кремний-углеродную матрицу, использовались тантал, вольфрам, молибден, гафний и алюминий. Рассмотрены концентрационные и температурные зависимости электропроводности образцов. Показано, что с увеличением концентрации ряда металлов (тантал, молибден, вольфрам и гафний) происходит переход от полупроводникового (активационного) типа проводимости к металлическому. Рассмотрены особенности электропроводности для пленок с алюминием, который не образует карбид, а внедрен в пленку в виде своего оксида.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-07-00147а).

Авторы выражают благодарность Шупегину М. Л. за изготовление образцов.

Литература

1. **Наноструктурирование** пленок металлсодержащих кремний-углеродных композитов / А.И. Попов, М.Ю. Пресняков, М.Л. Шупегин, А.Л. Васильев // Российские нанотехнологии. 2014. № 5—6.

2. **Presniakov M., Popov A., Vasiliev A.** Electron microscopy of the effect of heat treatment on the structure of metal containing nanocomposites with silicon-carbon matrix // Journal of Physics Conference Series. 2013. 471. 012036.

С.Е. Шарков, студ.; рук. П.И. Акимов, д.ф.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МНОГОЛУЧЕВОГО КЛИСТРОНА

В настоящее время происходит бурное развитие ускорителей электронов промышленного и медицинского направлений. К источникам СВЧ питания ускорителей предъявляются жесткие требования по массогабаритным параметрам.

В наибольшей степени комплексу предъявляемых требований отвечают многолучевые клистроны (МЛК). Одним из наиболее эффективных решений снижения массогабаритных характеристик является увеличение частоты СВЧ сигнала, используемого в системах питания ускорителей.

Рабочая частота МЛК, источника СВЧ питания, была выбрана равной 5712 МГц — это вторая гармоника широко распространенной в ускорительной технике «Станфордской» частоты 2856 МГц. Электродинамическая система (ЭДС) использует кольцевые резонаторы, работающие на высшем виде колебаний E_{020} . Серьезной проблемой, возникающей при использовании кольцевых резонаторов, является изменение значения рабочей частоты вида колебаний и величины добротности, а также нарушение азимутальной равномерности СВЧ поля в выходном и входном резонаторах, связанных с внешней нагрузкой аксиально-несимметричным элементом связи, например, щелью связи [1].

Суть исследования заключалась в составлении универсальной методики проектирования кольцевых резонаторов и осуществлении трехмерного численного моделирования элементов настройки конструкции ЭДС клистрона, удовлетворяющей требованиям, предъявляемым к разрабатываемому клистроно по рабочей частоте, широкополосности, выходной мощности, электронному КПД и массогабаритным параметрам.

В работе приведены расчеты спроектированных моделей резонаторов клистрона, отображающие значение частоты рабочего вида СВЧ колебаний и величины добротности. Показано количественное влияние элементов настройки ЭДС на однородность ВЧ поля в резонаторах. Подробно описана методика разработки кольцевых резонаторов МЛК. Найдены методы настройки ЭДС клистрона и осуществлена оптимизация их положения в конструкции прибора.

Литература

1. Карлинер М.М. Электродинамика СВЧ. Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2006. 258 с.

Секция 12

БИОМЕДИЦИНСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Председатель секции — к.т.н., доцент М.Н. Крамм

Секретарь секции — к.т.н., доцент Г.В. Жихарева

Ksenyia Babaytseva, B.Sc. (MPEI, Moscow, Russia); Uwe Graichen, Dr.rer. nat.; Thomas Knösche, PD Dr.-Ing. habil.; Patrique Fiedler, Dipl.-Ing.; supervisor Jens Haueisen, Prof. Dr.-Ing. habil. (TU Ilmenau, Germany)

OBJECTIVE VALIDATION AND COMPARISON OF NOVEL ALGORITHMS FOR AUTOMATIC ARTIFACT DETECTION AND ELIMINATION IN ELECTROENCEPHALOGRAPHY DATA

A novel approach to study and foster optimal sports performance is the acquisition and analysis of brain signals and brain dynamics. Finding neural biomarkers of performance is in the focus of recent movement science and sport psychology studies. In order to study brain activity in terms of electroencephalography (EEG) during ongoing sports activity requires state-of-the-art EEG hardware and software. Mobile and long-term EEG recording is possible using novel dry (gel-free) electrode caps and related amplification electronics. However, the nature of dry electrode technology and the inherent consequence of movement artifacts in EEG recorded during physical activity, require new and reliable approaches for signal processing, artifact detection and rejection. Important requirements for the analysis of mobile multichannel EEG data are efficient and reliable software algorithms for signal decomposition, feature extraction, signal enhancement, and dimensionality reduction. Recently proposed methods include the spatial harmonic analysis (SPHARA), extending the classical spatial Fourier analysis to EEG sensors non-uniformly distributed on the surface of the head.

A second approach is the spatial oversampling of the head surface, source-reconstruction reprojection to a non-artifactual subset of electrode positions. The positions of the sensors are always constant with respect to each other, but not with respect to the head. A set of virtual sources, made up by current multipoles, is used as a mediator between the original and the converted data set.

We apply SPHARA and the reprojection approach to simulated and real EEG data of spontaneous and evoked brain activity. We compare the artifactual

raw data with the processed data after individual and combined application of SPHARA and the reprojection approach. When employing SPHARA for dimensionality reduction, a more compact representation can be achieved using the FEM approach, compared to other discretization methods. Multiple metrics like power spectral density and global field power are calculated as quantitative measures of signal characteristics and quality. We conclude that the proposed algorithms SPHARA and the reprojection approach have the potential to reduce common types of artifacts in mobile EEG and therefore considerably improve EEG signal quality. Furthermore, our results show that the new algorithms provide increased reliability and efficiency in comparison to conventional approaches.

*Anna Kongo, B.Sc. (MPEI, Moscow, Russia);
Alexander Hunold, M.Sc. (TU Ilmenau, Germany);
Klaus Schellhorn, Dipl.-Ing. (neuroCare Group GmbH, Munich, Germany);
supervisor Jens Haueisen, Prof. Dr.-Ing. habil. (TU Ilmenau, Germany)*

EVALUATION OF TDCS APPLICATION APPROACHES BASED ON RUBBER BANDS AND A FLEXIBLE CAP

Transcranial direct current stimulation (tDCS) is a non-invasive procedure, applying weak currents (< 2 mA) across the scalp to modulate neuronal activity. Conventional application approaches involve patch electrodes fixated by rubber bands, which limit the stimulation to a few places and require the installation by trained staff. Recently, we introduced a new application approach based on a flexible cap with integrated textile stimulation electrodes to achieve increased flexibility and comfort.

Here, we present a comparative study involving the conventional and newly developed application approaches. With this comparison, we aim to evaluate the stimulation performance of the flexible textile cap comprising textile electrodes with respect to the patch electrodes fixated by rubber bands. The performance assessment includes electrode skin interface impedance, electrode positioning and usability for both, participants and operators.

We are going to apply tDCS stimulation setups to several volunteers with varying head size and hair length. Experiments are going to be conducted by multiple operators. Stimulation setups involved two or four electrodes with an area of 4×4 cm², each. Electrodes will be placed either by rubber bands or by a flexible cap. We are going to evaluate the time elapses during the setup application, track the electrode skin interface impedance continuously and measure the contact pressure between electrodes and scalp at the beginning and the end of the experiment lasting for 30 min. Further we will track the electrode positions in 10 min intervals. The usability of the different application approaches will be evaluated by the operator. Participants are going to report the sensations and application comfort.

The results will provide an objective comparison on the application stability between the conventional and newly developed application approach based on quantitative measures. Further, operator and participant questionnaires will provide usability information.

ТРЕХМЕРНАЯ МОДЕЛЬ ПОВЕРХНОСТИ МИОКАРДА

При решении обратной задачи электрокардиографии – определении параметров эквивалентного электрического генератора сердца по потенциалам, измеренным на поверхности грудной клетки, возникает необходимость выбора модели поверхности миокарда как области расположения эквивалентных источников сердца [1]. При моделировании электрической активности сердца необходимо задаваться геометрией миокарда [1, 2]; в качестве поверхности миокарда используют сферический квазиэпикард.

Цель работы — создание трехмерной анатомически верной модели поверхности миокарда с возможностью ее вращения и масштабирования. В работе оцифрованы изображения поверхности сердца, представленные в различных ракурсах; узловые точки поверхности приведены на рис. 1, а. Затем по узловым точкам путем интерполяции модифицированным методом Шепарда [3] восстановлена поверхность миокарда на равномерной сетке по угловым координатам сферической системы координат (рис. 1, б). Далее поверхность была дискретизирована с помощью клеточных автоматов [2, 3].

Полученные массивы точек поверхности миокарда в дальнейшем могут быть использованы как в алгоритмах решения обратной задачи электрокардиографии, так и при моделировании электрической работы сердца с помощью клеточных автоматов [2], и призваны повысить точность решения данных задач электрокардиографии.



Рис. 1. Поверхность миокарда: а — исходные узловые точки поверхности; б — результат интерполяции поверхности на равномерной сетке

Литература

1. Жихарева Г., Крамм М. Реконструкция токовых источников сердца в обратной задаче ЭКГ. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012.
2. Афшар Э., Жихарева Г.В., Куприянова Я.А. Моделирование испытательных электрокардиографических сигналов при наличии ишемии миокарда // Вестник МЭИ. 2015. № 4. С. 86–91.
3. Андреев С.Ю. Моделирование динамики возбуждения предсердий в задачах восстановления ритма сердца: Дисс. ... канд. техн. наук. Томск, ТПУ, 2006.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АНАЛИЗА УЧАСТКОВ ЗАПИСИ ЭЭГ-СИГНАЛА

Традиционными областями применения метода электроэнцефалографии (ЭЭГ) являются: диагностика эпилепсии; оценка деструктивных нарушений, связанных с очаговыми процессами, особенно при исследовании в динамике; оценка диффузных изменений, связанных с энцефалопатиями, деменцией, энцефаломиелитами и другими поражениями мозга; заболевания, связанные с нарушением уровня сознания [1].

Расшифровка энцефалограммы — это процесс ее интерпретации с учетом клинических симптомов, имеющихся у пациента. Нарушения каждого из ритмов свидетельствует об определенной патологии. Суть различных методов сегментации в выделении участков энцефалограммы, относящихся к разным ритмам. Следующий шаг — непосредственно анализ сегментов с целью выделения из них диагностически важной информации. С технической точки зрения такой информацией являются спектр и его характеристики: центральная частота и полоса пропускания. Для врача эта информация содержит сведения о ритме, содержащемся на данном участке записи.

В данной работе анализ записи происходит на участках, полученных с помощью разработанного алгоритма сегментации, основанного на определении фрактальной размерности фиксированных интервалов [2]. Для получения данных о типе ритма участка записи необходимо получить спектр участка и определить его частотные характеристики.

Разработанный алгоритм анализа протестирован на моделированных сигналах; подобраны пороги для определения частоты, позволяющие с наибольшей точностью определять тип ритма. К сожалению, форма спектра реального ЭЭГ-сигнала далека от спектра даже хорошо смоделированного сигнала. В связи с этим появляются ошибки в определении частот ритмов. Возможным решением такой проблемы является построение авторегрессионной (АР) модели сегмента записи и анализ спектра АР-модели.

Литература

1. **Гнездицкий В.В.** Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография (картирование и локализация источников электрической активности мозга). М.: МЕДпресс-информ, 2004.
2. **Белова Е.В., Жихарева Г.В.** Разработка и исследование алгоритмов сегментации ЭЭГ-сигналов // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. XXII МНТК студентов и аспирантов: В 3 т. М.: Издательский дом МЭИ, 2016. Т. 1.

*А.Ю. Берсенёва, Я.Э. Ефименко, студенты;
рук. Н.О. Стрелков, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ОБРАБОТКА И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА В СВОБОДНО РАСПРОСТРАНЯЕМОМ МАТЕМАТИЧЕСКОМ ПАКЕТЕ SCILAB И СРЕДЕ ВИЗУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ XCOS

Целью настоящей работы является написание программы с графическим интерфейсом пользователя и построение схем в системе визуального моделирования Xcos в свободно распространяемом математическом пакете Scilab [1] для обработки электрокардиосигнала (ЭКС).

Ранее авторы написали программы без графического интерфейса в Scilab [2] и построили ряд схем в системе Xcos [3] для загрузки, фильтрации и визуализации ЭКС во временной и спектральной областях.

В настоящей работе выполняется интеграция программ на языке Scilab со схемами Xcos в единую программу с графическим интерфейсом пользователя, который позволяет выполнять следующие действия: загрузка файла исходного ЭКС, задание его частоты дискретизации и визуализация во временной и спектральной областях; задание параметров цифровых фильтров нижних и верхних частот (порядки, частоты среза, типы окон и их параметры) и отображение их амплитудно-частотных и импульсных характеристик; визуализация отфильтрованных ЭКС и их спектров после фильтров нижних и верхних частот; сохранение файлов с отфильтрованными сигналами и другой информацией.

Созданная программа с графическим интерфейсом может быть использована в учебном процессе при проведении лабораторных работ для демонстрации обработки ЭКС при варьировании параметров фильтров.

Литература

1. **Scilab** – The Free Software for Numerical Computation – Scilab Web-Site [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scilab.org/>

2. **Ефименко Я.Э., Стрелков Н.О.** Фильтрация электрокардиосигнала в свободно распространяемом математическом пакете Scilab на языке программирования Scilab // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов XXII МНТК студентов и аспирантов (25—26 февраля 2016 г., Москва): В 3 т. Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2016. С. 182.

3. **Берсенёва А.Ю., Стрелков Н.О.** Фильтрация электрокардиосигнала в свободно распространяемом математическом пакете Scilab в системе визуального моделирования Xcos. // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов XXII МНТК студентов и аспирантов (25—26 февраля 2016 г., Москва). В 3 т. Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2016. С. 176.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА СЕРДЦА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ИШЕМИИ МИОКАРДА

Для определения возможности усовершенствования диагностики ишемии миокарда используются записи реальных пациентов с выявленными патологиями, полученные 16-канальным кардиоблоком. Числовая оценка пространственно-временных зависимостей для характеристик эквивалентного электрического генератора сердца (ЭГС) дипольного типа [1] проводится в моменты максимума нагрузочного теста (METS) с помощью вторичных информационных параметров (ВП).

Выполняется статистическая обработка с помощью однофакторного дисперсионного анализа для исследования значимости различий значений ВП для здоровых и больных пациентов [2]. Также проводится расчет чувствительности и специфичности значений параметров, позволяющий определить их информативность.

Пример графиков распределения нагрузочного теста и значений параметра β — изменения мощности на ST-T сегменте — для пациентов с диагнозом «ишемия» и без патологии представлен на рис. 1, а и б соответственно.

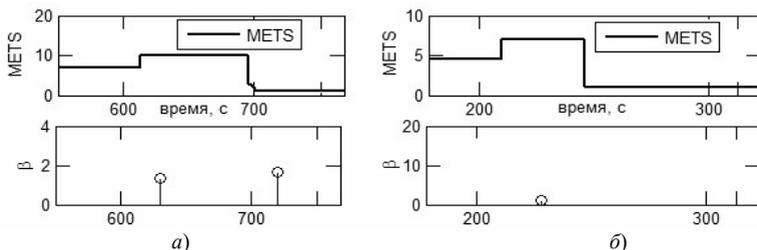


Рис. 1. Значения параметра β в моменты пика нагрузочного теста (METS) (шаг 100 с)

В ходе работы по результатам обработки 50 записей обследуемых получены значения ВП для людей с диагнозом «ишемия». По итогам исследования выявлена диагностическая значимость вторичных информационных параметров пространственно-временной динамики дипольного источника сердца. Для трех из шести ВП показатели чувствительности и специфичности равны или превышают 75 %.

Литература

1. Реконструкция токового источника в области миокарда / Д.С. Винокуров, М.Н. Крамм, В.В. Лебедев, Ю.Б. Попов // Медицинская техника. 2008. № 4.
2. Калинина В.Н., Соловьёв В.И. Компьютерный практикум по прикладной статистике: учебное пособие для вузов. М.: РИПО ИГУМО, 2005. 104 с.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКВИВАЛЕНТНОГО ДИПОЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Изучение деятельности головного мозга путем исследования его электрической активности является признанным направлением в электронейрофизиологии. Однако при использовании метода электроэнцефалографии (ЭЭГ) в клинической практике достаточно велико число ошибок. В связи с этим актуально развитие новых методов исследования, которые призваны повысить чувствительность и надежность диагностики электрической активности головного мозга. Одним из таких методов является решение обратной задачи ЭЭГ — реконструкция характеристик эквивалентных источников электрической активности головного мозга по измеренным ЭЭГ-сигналам [1].

Цель настоящей работы — применить алгоритмы и программы, разработанные на кафедре основ радиотехники НИУ «МЭИ» и используемые при реконструкции характеристик эквивалентного дипольного источника электрической активности сердца для решения обратной задачи ЭЭГ [2].

При апробации данных алгоритмов используются ЭЭГ-сигналы из базы PhysioNet [3] и система электродных отведений 10—20 %. Для расчета координат электродов разработан алгоритм, использующий информацию о размерах головы и стандартном расположении электродов выбранной системы отведений. Качество проведенной реконструкции оценивается путем расчета невязки по потенциалам и коэффициента дипольности [4] реконструированного источника. Результатом является траектория перемещения эквивалентного дипольного источника электрической активности головного мозга в различные интервалы времени.

Анализ результатов решения обратной задачи ЭЭГ позволит получить дополнительную информацию об областях локализации источников сигналов (недоступную при обычном анализе ЭЭГ-сигналов), а также оценить их размеры.

Литература

1. **Гнездицкий В.В.** Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография. М.: МЕДпресс-информ, 2004.
2. **Исследование** дополнительных диагностических признаков ишемии миокарда / М.Н. Крамм, Н.О. Стрелков, П.Ш. Чомахидзе, Ф.Ю. Копылов // Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. 2016. Т. 9. № 1. С. 52—57.
3. **EEG Motor Movement / Imagery Dataset.** PhysioNet. The research resource for complex physiologic signals. [Электронный ресурс]. URL: <https://physionet.org/physiobank/database/eegmmidb>.
4. **BrainLoc 6.0.** Программа трехмерной локализации источников электрической активности головного мозга. Руководство пользователя. М.: Нейрософт, 2006.

КАРДИОМОНИТОР НА ОСНОВЕ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO

В настоящей работе рассматривается создание кардиомонитора в качестве лабораторного стенда с возможностью регистрации и отображения электрокардиосигнала (ЭКС) в режиме реального времени [1].

Аппаратная часть выполнена на платформе Arduino в исполнении Arduino Mega 2560 [2] с подключенным к ней модулем съема ЭКС AD8232 Heart Rate Monitor [3]. Указанный модуль выполнен по концепции Open Source Hardware (аппаратное обеспечение с открытым «исходным кодом») и использует три электрода (на правой руке, левой руке и правой ноге), т.е. происходит регистрация ЭКС в одном отведении. В модуль встроены активные аналоговые фильтры верхних и нижних частот, активный фильтр для подавления сетевой помехи частоты 50 Гц и инструментальный усилитель.

Программная часть реализована в свободно распространяемой среде разработки Arduino. Вывод сигнала электрокардиограммы (ЭКГ) выполняется на монитор персонального компьютера (ПК). Также предусмотрен расчет и вывод основных параметров сердечного ритма, таких как частота сердечных сокращений и тип ритма. Программа выдает предупреждение в случае отсутствия сигнала от электродов, расположенных на руках.

В дальнейшем планируется реализовать независимый от ПК кардиомонитор с собственным дисплеем и батарейным питанием, что обеспечит его автономность.

Стенд предназначен для учебных целей. Настоящий проект характеризуется относительной дешевизной и доступностью составляющих компонентов, простотой сборки, открытым программным и аппаратным обеспечением. Перечисленные свойства показывают преимущества использования кардиомонитора на микроконтроллере перед серийно производимыми комплексами для регистрации ЭКГ, имеющимися в настоящий момент на кафедре основ радиотехники НИУ «МЭИ».

Литература

1. **Кардиомониторы.** Аппаратура непрерывного контроля ЭКГ: учеб. пособие для вузов / А.Л. Барановский, А.Н. Калиниченко, Л.А. Манило и др.; под ред. А.Л. Барановского и А.П. Немирко. М.: Радио и связь, 1993. 248 с.
2. **Arduino Applications guide.** [Электронный ресурс]. URL: <https://www.arduino.cc>.
3. **SparkFun Single Lead Heart Rate Monitor - AD8232.** [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sparkfun.com/products/12650>.

ПРИМЕНЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИИ

Электроэнцефалография — метод записи электрической активности различных отделов головного мозга, которая преобразуется в соответствующую кривую, называемую электроэнцефалограммой (ЭЭГ). Электроэнцефалография позволяет выявить отклонения в работе различных отделов мозга человека [1]. Сигнал ЭЭГ является одним из сложных процессов, который включает в себя непериодические колебания, периодические и квазипериодические процессы. Корреляционный анализ дает возможность построить авто- и кросскоррелограммы, которые зависят от характера исследуемого сигнала ЭЭГ [2].

Корреляционные методы анализа были реализованы в математическом пакете MatLab. Проведен автокорреляционный и кросскорреляционный анализ реальных ЭЭГ-сигналов здоровых людей и людей с патологиями, которые были взяты из интернет-библиотеки биосигналов PhysioNet [3].

Автокорреляционная функция (АКФ) позволяет выявить слабые или скрытые периодичности ЭЭГ-сигнала, в том числе присутствие альфа-ритма. Проведенное исследование показало, что вид автокоррелограммы зависит от выбранного канала съема. Например, в лобной части мозга периодичность выражена несильно в отличие от затылочной области головного мозга. При наличии патологии наблюдалась слабая выраженность альфа-ритма в затылочной части мозга.

Компьютерный кросскорреляционный анализ ЭЭГ дает возможность сравнения процессов в двух точках мозга, позволяет количественно оценить степень сходства процессов или их связи. Количественную оценку степени сходства сигналов ЭЭГ дает коэффициент кросскорреляции. На сигналах ЭЭГ, снятых с симметричных точек головы у пациентов с патологией, выявлено отличие коэффициента кросскорреляции от значений, полученных для сигналов ЭЭГ здоровых людей.

Результаты реализации и исследования корреляционных методов обработки сигналов ЭЭГ будут использованы в учебном процессе для проведения практических занятий студентов, обучающихся по направлению «Биотехнические системы и технологии».

Литература

1. Лонгмор М., Уилкинсон Я., Раджагопалан С. Оксфордский справочник по клинической медицине. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009.
2. Сахаров В.Л., Андреев А.С. Методы математической обработки электроэнцефалограмм. Таганрог: Антон, 2000.
3. PhysioNet. The research resource for complex physiologic signals. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.physionet.org>.

МЕДИЦИНСКАЯ АНТЕННА ДЛЯ ГИНЕКОЛОГИИ

Сегодня актуален вопрос раннего выявления воспалительных и онкологических заболеваний органов малого таза, в частности рака шейки матки (РШМ). Однако существующие методы диагностики зачастую не позволяют выявлять его на ранних стадиях, а также выявить скрытые формы воспалительных заболеваний [1]. Особенность тепловых методов диагностики в том, что они позволяют обнаружить патологический процесс на ранних стадиях, так как воспаление или канцерогенез характеризуется повышением температуры. Одним из таких методов является микроволновая радиотермометрия, основанная на измерении собственного микроволнового излучения биологических тканей. Метод позволяет выявлять тепловые аномалии на глубине нескольких сантиметров организма человека [2].

Для адаптации метода радиотермометрии в гинекологии необходимо разработать миниатюрную волноводную антенну, которая будет вводиться в биологические полости через естественные отверстия. Антенна позволит измерять температуру шейки матки [3].

Для разработки антенны решен ряд научно-технических задач: проведено математическое моделирование радиотермометрии органов малого таза, создана компьютерная модель антенны и биологического объекта, на основании модели выполнена оценка медико-биологической эффективности разработанной антенны для выявления патологии шейки матки. Работы проведены на базе обзора современных информационных источников и анализа существующего уровня техники в данной области.

В итоге исходя из условия согласования антенны с биологическим объектом была спроектирована антенна длиной 24 мм, построенная на базе круглого волновода диаметром 15 мм, заполненного керамикой с диэлектрической проницаемостью 28 и высотой 20 мм. Излучатель антенны представляет собой щель в виде «бабочки» диаметром 13 мм, шириной зазора 2,5 мм и углом раскрытия 100°. Разработанная антенна принимает тепловое излучение тканей на глубине 16 мм, что является достаточным для диагностики органов малого таза у женщин.

Литература

1. **Сушинская Т.В., Жордания К.И., Паяниди Ю.Г.** Аналитические аспекты онкологических заболеваний женского населения России // Онкогинекология. 2015. № 3. С. 40—43.
2. **Седанкин М.К.** Антенны-аппликаторы для радиотермометрического исследования тепловых полей внутренних тканей биологического объекта: Дисс. ...канд. техн. наук. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013.
3. **Цомаева Е.А.** Клиническое значение радиотермометрии в диагностике и дифференциальной диагностике заболеваний органов малого таза. Дисс. ...канд. мед. наук. М.: РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздравсоцразвития России, 2014.

Д.В. Калашникова, студ.; рук-ли М.Н. Крамм, к. т. н., доц.;
Д.С. Винокуров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РЕКОНСТРУКЦИЯ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ГЕНЕРАТОРА СЕРДЦА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТИМИЗАЦИОННОГО МЕТОДА И МЕТОДА ГАБОРА—НЕЛЬСОНА

Дополнительная информация об электрической активности сердца может содержаться в изменении в течение кардиоцикла координат, ориентации и интенсивности эквивалентного электрического генератора сердца (ЭГС) дипольного типа [1]. Для реконструкции ЭГС по сигналам кардиоотведений предлагается подход, основанный на комбинированном использовании оптимизационного метода [1] и метода Габора—Нельсона [2]. В обоих случаях рассматривалась модель торса человека в виде эллиптического цилиндра.

Метод реконструкции ЭГС оптимизационным способом заключается в поиске продольных и поперечных характеристик диполя, используя метод наименьших квадратов.

Метод Габора—Нельсона основан на расчете поперечных характеристик диполя на поверхности эллиптического цилиндра с помощью систем линейных алгебраических уравнений.

Результатом реконструкции являются графики накопленных и реконструированных отведений. Были получены треки движения продольных и поперечных координат диполя, которые демонстрируют движение ЭГС за один кардиоцикл; изменение дипольного момента для двух методов реконструкции ЭГС. Также была получена величина нормированной ошибки по измеренным потенциалам около 10 %, которая показывает качество проведения реконструкции накопленных сигналов.

В методе Габора—Нельсона поперечные характеристики диполя рассчитываются более точно в связи с учетом электрической изоляции торса. Но из-за отсутствия продольных характеристик целесообразно комбинирование данного метода с оптимизационным методом реконструкции ЭГС.

Литература

1. Стрелков Н.О., Винокуров Д.С., Крамм М.Н. Методика реконструкции параметров токового диполя сердца на модели торса человека в виде эллиптического цилиндра // Сборник материалов XV МНТК Юго-Зап. гос. ун-та. Курск, 2012. С. 45—48.
2. Gabor D., Nelson C. V. Determination of the resultant dipole of the heart from measurements on the body surface // Journal Of Applied Physics. April, 1954. P. 413—416.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ АЛГОРИТМА РЕКОНСТРУКЦИИ ПОВЕРХНОСТИ МИОКАРДА

При решении обратной задачи электрокардиографии — реконструкции распределений эквивалентных токовых источников на поверхности сердца по электрическим потенциалам, измеренным на поверхности грудной клетки [1] возникает задача определения поверхности сердца как места расположения эквивалентных источников. Данную поверхность можно определить с помощью компьютерной томографии или ультразвуковых исследований, но эти методы требуют дорогостоящего оборудования и квалифицированного медицинского персонала.

В работе [2] предложен другой подход — определение поверхности миокарда непосредственно по электрическим потенциалам, измеренным на поверхности грудной клетки, т.е. по картам наружных потенциалов. Разработанный алгоритм прошел апробацию на модели генератора сердца в виде равномерного двойного слоя токовых источников, перемещающегося внутри поверхностей различной формы, моделирующих поверхность миокарда: сферической, цилиндрической и в виде прямоугольного параллелепипеда. Грудная клетка моделировалась эллиптическим цилиндром. При этом правильность работы алгоритма оценивалась только качественно, т.е. визуально.

В настоящей работе предложена и реализована методика количественной оценки результатов реконструкции. Результат реконструкции поверхности представляет собой двумерный массив координат r_{ij} на равномерной сетке по угловым координатам сферической системы координат (θ_i, φ_j) . На этой же сетке проведен расчет координат r_{0ij} моделированных поверхностей. Затем, для всех точек реконструированной поверхности была рассчитана абсолютная погрешность $\Delta_{ij} = r_{ij} - r_{0ij}$, и найдены ее среднее $\Delta_{ср}$ и максимальное Δ_{max} значения.

Исследование алгоритма реконструкции поверхности миокарда при различных значениях его варьируемых параметров и расчет погрешностей $\Delta_{ср}$ и Δ_{max} позволили определить значения параметров алгоритма, соответствующие минимальным абсолютным погрешностям.

Литература

1. Жихарева Г., Крамм М. Реконструкция токовых источников сердца в обратной задаче ЭКГ. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012.
2. Пурденко В. Жихарева Г.В. Определение поверхности миокарда спектральным алгоритмом // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов XX МНТК студентов и аспирантов: В 4 т. Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2014.

*А.М. Козлова, А.Г. Панков, А.Р. Садекова, студенты;
рук. Н.О. Стрелков, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ОБРАБОТКА БИОСИГНАЛОВ В СВОБОДНО РАСПРОСТРАНЯЕМОМ МАТЕМАТИЧЕСКОМ ПАКЕТЕ SCILAB

Целью настоящей работы является анализ возможности использования свободно распространяемого математического пакета Scilab [1] для обработки биосигналов.

В настоящей работе получены ритмограммы пульса и дыхания при совместном исследовании ритма сердца и дыхания по известной методике [2] и визуализация ритма сердца с помощью ритмограмм, скаттерограмм и гистограмм.

Для обработки сигналов использованы цифровые фильтры с конечной импульсной характеристикой [3] и метод плавающего порога для определения длительностей RR-интервалов (по пульсограмме и электрокардиограмме) и длительностей интервалов дыхания для сигнала дыхания.

В результате выполнения работы были написаны программы на языке программирования Scilab, реализующие следующие этапы: загрузка файла с исходным сигналом; визуализация исходного сигнала; фильтрация сигнала; визуализация отфильтрованного сигнала; обработка отфильтрованного сигнала методом плавающего порога; визуализация ритмов сердца и дыхания; расчет основных параметров ритма (максимальный и минимальный RR-интервал, средний RR-интервал, СКО RR-интервалов, частота сердечных сокращений).

Созданные программы продемонстрировали широкие возможности обработки биосигналов в свободно распространяемом математическом пакете Scilab. Они могут быть использованы в учебном процессе при выполнении лабораторных работ.

Литература

1. **Scilab** – The Free Software for Numerical Computation – Scilab WebSite [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scilab.org/>.
2. **Дудник Е.Н.** Респираторно-кардиальные взаимоотношения в оценке функционального состояния человека: Автореф. дис.... канд. биол. наук. М.: НИИ Нормальной физиологии им. П.К. Анохина, 2002.
3. **Ефименко Я.Э., Стрелков Н.О.** Фильтрация электрокардиосигнала в свободно распространяемом математическом пакете Scilab на языке программирования Scilab // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тезисы докладов XXII междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (25—26 февраля 2016 г., Москва. В 3 т. Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2016. С. 182.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА СЕРДЦА ДИПОЛЬНОГО ТИПА НА ПОРТРЕТЕ СЕРДЦА

В настоящее время перспективным является направление электрокардиографии, связанное с реконструкцией эквивалентного электрического генератора сердца (ЭГС) по электрокардиосигналам (ЭКС) многоканальных отведений, которое позволяет получить дополнительную информацию об электрической активности сердца, на основании этой информации можно было бы расширить диагностику патологических состояний миокарда, его электрофизиологических свойств.

Работа может быть представлена в виде нескольких последовательных этапов: ввод ЭКС, реконструкция, визуализация треков ЭГС на портрете сердца.

Для реализации визуализации были использованы алгоритмы реконструкции ЭГС дипольного типа [1] и разработан алгоритм построения треков движения ЭГС на контуре миокарда для различных зубцов кардиоцикла. При этом проводится определение моментов времени начала зубцов и масштабирование модели миокарда. Для повышения информативности предусмотрены выбор отображаемых треков и визуализация треков в динамике синхронно с сигналами ЭКС, с отметкой опорных временных точек с заданным интервалом; возможность визуализации трехмерной модели сердца. Итогом программы является динамическая визуализация движения ЭГС во фронтальной (рис. 1) и горизонтальной (рис. 2) проекциях.

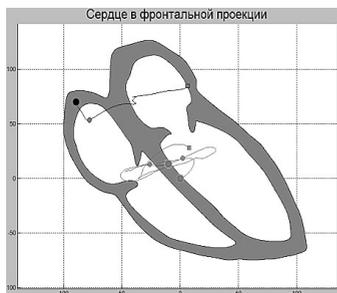


Рис. 1. Сердце во фронтальной плоскости

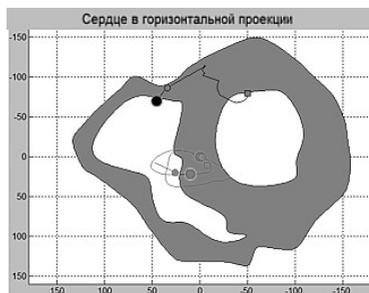


Рис. 2. Сердце в горизонтальной плоскости

Литература

1. **Реконструкция** токового источника в области миокарда / Д.С. Винокуров, М.Н. Крамм, В.В. Лебедев, Ю.Б. Попов // Медицинская техника. 2008. № 4. С. 7—11.

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ТОЧНОСТЬ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО СДВИГА ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ВИДЕОКАМЕРЫ

Необходимость совершенствования производственных технологий, уменьшение размеров изделий микроэлектроники, требование повышения качества выпускаемой аппаратуры ведут к созданию новых методов и средств контроля параметров технологического процесса, в частности точности позиционирования различных узлов технологического оборудования. В ряде случаев важно контролировать параметры пространственных перемещений объектов в динамике, например, в процессе виброколебаний. Так, аппарат МРТ во время работы производит громкий стук, его причиной служат проходящие через градиентные катушки быстрые импульсы электроэнергии, которые не только изменяют магнитное поле, но и вызывают нежелательные вибрации, контролировать которые необходимо на стадиях разработки и сертификации.

В докладе приведены результаты анализа потенциальной точности оценки одномерного пространственного сдвига модели изображения тест-объекта (штриховой миры), получаемого с помощью высокоскоростной видеокамеры, при известных и неизвестных неинформационных параметрах регистрируемого двумерного сигнала. С использованием неравенства Рао—Крамера [1] для случая известных неинформационных параметров видеосигнала получены зависимости нижней границы среднего квадратического отклонения (СКО) оценки пространственного сдвига от параметров сигнала и отношения сигнал-шум. Для случая неизвестных неинформационных параметров оценки потенциальной точности найдены путем расчета элементов информационной матрицы Фишера и корреляционной матрицы ошибок [1].

Проведено сравнение полученных потенциальных оценок с результатами численного моделирования корреляционного алгоритма оценки сдвига модели изображения элемента штриховой миры, а также с результатами экспериментов по измерениям смещений штриховой миры, полученными в [2].

Литература

1. **Перов А.И.** Статистическая теория радиотехнических систем. М.: Радиотехника, 2003.
2. **Гречихин В.А., Расковская И.Л.** Анализ характеристик системы цифровой регистрации оптических сигналов на базе матричного фотоприемника // Измерительная техника. 2009. № 4. С. 29—33.

НЕЛИНЕЙНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ В СИСТЕМАХ ТРЕКИНГА

Системы слежения за положением пользователя в пространстве (трекинга) применяются для навигации внутри помещения. В настоящее время неизвестно доступного надежного масштабируемого технического решения для оценки в большой рабочей зоне в реальном времени перемещения нескольких пользователей с точностью до движения конечностей.

Предлагаемое решение: квазиоптимальный нелинейный (следающий) фильтр на базе модели движения человека, использующий дополнительную информацию о вероятной динамике маркерных точек тела человека. Новизна заключается: 1) во введении следающего фильтра (известные радиосистемы для трекинга обеспечивают только разовую оценку); 2) в использовании на основе разработанной адаптированной модели движения человека [представленной формулами (1) – (4)] дополнительной информации для улучшения выдаваемой фильтром оценки координат положения маркерных точек. Уравнения, описывающие движение двух связанных точек [пятка (1) – колено (2)] в продольной (y) и вертикальной (z) осях, а также закон изменения угла отклонения (α) второй маркерной точки (колена):

$$y(k)^{(1)} = (A_{0y} + A(k)_y) \sin(\Omega_0 kT + \Omega(k)T) + c_{0y} kT + c(k)_y T; \quad (1)$$

$$z(k)^{(1)} = (A_{0z} + A(k)_z) \sin(\Omega_0 kT + \Omega(k)T) + c_{0z} kT + c(k)_z; \quad (2)$$

$$y(k)^{(2)} = y(k)^{(1)} + L \sin(\alpha(k)), \quad z(k)^{(2)} = z(k)^{(1)} + L \cos(\alpha(k)); \quad (3)$$

$$\alpha(k) = -(A_{0\alpha} + A(k)_\alpha) \sin(\Omega_0 kT + \Omega(k)T), \quad (4)$$

где $k = 1, 2$ — тактовая переменная; $\Omega(k)$ — мгновенное отклонение частоты периодической составляющей походки от ее номинального значения Ω_0 ; T — период дискретизации; $A(k)$ — мгновенное отклонение амплитуды периодической составляющей координаты первой маркерной точки (пятки) от ее номинального значения A_0 ; $c(k)$ — мгновенное отклонение текущей координаты первой маркерной точки от номинального линейного роста со временем [для продольной оси или от ее номинального значения c_{0z} (для оси z)]; $A(k)_\alpha$ — мгновенное отклонение амплитуды угла отклонения второй маркерной точки (колена) от ее номинального значения $A_{0\alpha}$; L — фиксированное расстояние колена — пятка.

Снижение погрешности оценки координат маркерных точек на телах пользователей существенно повышает корректность отображения аватаров пользователей. Таким образом, существенно повышаются возможности систем трекинга и расширяется область их потенциального применения не только в развлечениях, но и в хозяйственной деятельности.

Я.А. Куприянова, асп.; рук. Г.В. Жихарева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЭКГ-СИГНАЛОВ ПРИ НАЛИЧИИ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ

Целью данной работы являются моделирование и анализ испытательных ЭКГ-сигналов, необходимых для разработки и апробации алгоритмов ранней диагностики патологических состояний миокарда. Принцип моделирования испытательных ЭКГ-сигналов с помощью клеточных автоматов представлен в работе [1].

В настоящей работе показано, что при наличии патологических областей – участков миокарда с задержанным проведением возбуждения в спектрах моделированных сигналах появляются характерные высокочастотные составляющие. На рис. 1 представлены используемые модели грудной клетки и сердца, спектры модулей моделированных сигналов векторной ЭКГ при наличии и отсутствии патологии, а также график модуля разности этих спектров. В приведенном примере центр и электрическая ось сердца расположены типовым образом, область патологии (выделена черным цветом) обращена к электродам, при этом хорошо проявляется разность в спектрах. Таким образом, для ранней диагностики патологических состояний миокарда типа замедления проведения возбуждения актуальны выделение и анализ высокочастотных составляющих ЭКГ-сигналов.

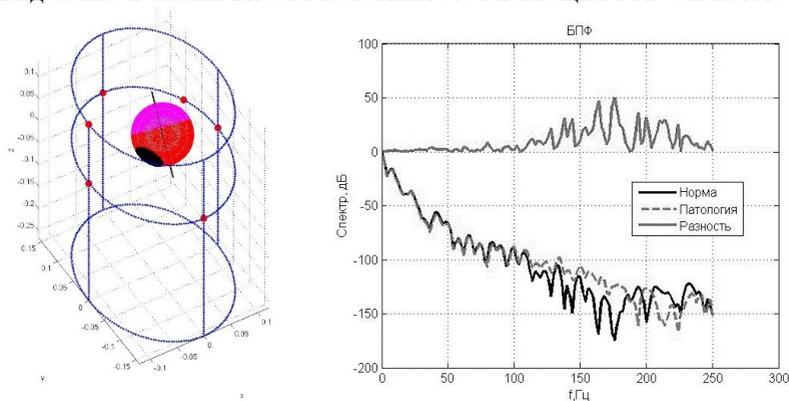


Рис. 1. Модель грудной клетки и сердца и спектры модулей моментов

Литература

1. Куприянова Я.А., Жихарева Г.В. Моделирование испытательных ЭКГ-сигналов с помощью клеточных автоматов // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. XXII МНТК студентов и аспирантов: В 3 т. Т. 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2016.

К.Н. Макридина, студ.; рук. Г.В. Жихарева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СЕРДЦЕ НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛИ ФИТЦ—ХЬЮ—НАГУМО

Математическое моделирование биоэлектрических процессов в сердце и их проявления в виде электромагнитного поля является неотъемлемой частью современной электрокардиологии. Применение этих моделей позволяет исследовать особенности распространения возбуждения в сердечной мышце.

В настоящей работе реализована и исследована модель Фитц—Хью—Нагумо, которая представляет собой систему дифференциальных уравнений типа реакция-диффузия [1]:

$$\begin{cases} \partial u / \partial t = D\Delta u - u(u - \alpha)(u - 1) - v, \\ \partial v / \partial t = \beta u - \gamma v, \end{cases} \quad (1)$$

где искомые переменные $u(\vec{r}, t)$ и $v(\vec{r}, t)$ — функции координат и времени, переменная u описывает быстрое изменение трансмембранного потенциала, а медленная переменная v — процесс восстановления среды; Δ — оператор Лапласа по пространственным координатам, α, β, γ — положительные постоянные, являющиеся параметрами модели.

Для исследования модели (1) записана точечная система уравнений, найдены главные изоклины и стационарные состояния точечной системы, определены тип среды, амплитуда и скорость волнового процесса a . Численно найдено решение точечной системы при различных начальных условиях. Построен фазовый портрет совместно с главными изоклинами.

В предположении, что процесс распространяется вдоль оси x , осуществлен переход к движущейся системе координат $\xi = at - x$ и получено численное решение системы уравнений (1) во всем пространстве.

На базе модели (1) путем изменения ее параметров, продемонстрировано распространение автоволн в различных типах сред: возбудимой, автоколебательной и бистабильной [2].

Материал настоящей работы используется в учебном процессе на практических занятиях по теме «Автоволновые процессы в активных средах» в рамках курса «Математическое моделирование биологических процессов и систем».

Литература

1. **Павельчак И.А.** Численные методы определения параметров в моделях Фитц—Хью—Нагумо и Алиева-Панфилова // Вычислительные методы и программирование. 2012. Т. 13. С. 172-176.

2. **Елькин Ю.Е.** Автоволновые процессы // Математическая биология и биоинформатика. 2006. Т. 1. № 1. С. 27—40.

*Е.П. Маралкина, студ.; рук-ли Г.В. Жихарева, к.т.н., доц.;
Н.О. Стрелков, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ НАРУЖНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ С УЧЕТОМ ГРАНИЦЫ «ТЕЛО—ВОЗДУХ»

Для апробации алгоритмов решения обратной задачи электрокардиографии (ЭКГ) – определения характеристик эквивалентных электрических источников сердца по потенциалам, измеренным на поверхности грудной клетки [1], актуально моделирование распределений электрических потенциалов на поверхности грудной клетки в различные моменты времени одиночного кардиоцикла – карт наружных потенциалов (КНП). Такой подход позволяет, зная характеристики истинного источника, численно оценивать погрешность алгоритмов решения обратной задачи ЭКГ.

Цель настоящей работы — расчет КНП на поверхности модели грудной клетки, представляющей собой однородный проводящий цилиндр конечной длины, расположенный в воздухе [2].

Сердце представлено сферической поверхностью, покрытой одиночным слоем клеточных автоматов (КА). Для моделирования КНП использовался принцип, изложенный в работе [3]: каждый КА поверхности сердца рассматривался как точечный электрический диполь, расположенный в центре КА, с единичным дипольным моментом, ориентированным по нормали к поверхности сердца. Для каждого диполя-КА на боковой поверхности цилиндра рассчитан массив потенциалов на равномерной сетке цилиндрической системы координат по формулам, представленным в работе [2]. Далее, используя принцип суперпозиции и модель генератора сердца для однородной среды [3], рассчитаны КНП в различные моменты времени одиночного кардиоцикла.

Моделированные КНП позволят оценивать погрешность алгоритмов решения обратной задачи ЭКГ [1], вносимую предположением об однородности и неограниченности среды, в которой расположен источник — сердце.

Литература

1. **Жихарева Г., Крамм М.** Реконструкция токовых источников сердца в обратной задаче ЭКГ. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012.
2. **Крамм М.Н., Стрелков Н.О.** Расчет электрических потенциалов, создаваемых дипольным источником в круговом проводящем цилиндре конечной длины // Радиотехника и электроника. 2015. Т. 60. № 2. С. 173—178.
3. **Афшар Э., Жихарева Г.В., Куприянова Я.А.** Моделирование испытательных электрокардиографических сигналов при наличии ишемии миокарда // Вестник МЭИ. 2015. № 4. С. 86—91.

МИКРОВОЛНОВАЯ ТРЕХКАНАЛЬНАЯ АНТЕННА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ГИНЕКОЛОГИИ

Сегодня диагностика заболеваний органов малого таза у женщин является актуальной задачей. Несмотря на то, что заболеваемость и смертность в мире от данных заболеваний уменьшились вдвое за последнее десятилетие, только за 2016 год зарегистрировано четыре тысячи случаев с летальным исходом [1]. Эти цифры показывают важность дальнейшего развития и исследования современных неинвазивных методов диагностики. Наиболее распространенные методы выявления воспалительных заболеваний органов малого таза у женщин это – цитологический мазок (тест Папаниколау), кольпоскопия, ультразвуковые исследования, компьютерная томография и магнитно-резонансная томография. Однако у каждого из них есть свои недостатки. Тест Папаниколау дает до 30 % ложноотрицательных результатов. Кольпоскопия обладает малой информативностью наравне с ультразвуковыми исследованиями. Компьютерная томография и магнитно-резонансная томография являются дорогостоящими и имеют ряд противопоказаний [2].

Микроволновую радиотермометрию можно рассматривать как один из возможных методов выявления и исследования патологических процессов в органах малого таза у женщин. По температуре яичников и матки удаётся диагностировать кисту, фиброму, нормальную беременность в самой начальной стадии, внематочную беременность, рак, эрозию шейки матки, кольпит [3]. На данный момент существуют одноканальные гинекологические антенны для подобных исследований, однако введение трех каналов позволит существенно уменьшить погрешность и увеличить информативность исследования [4]. Для разработки такой антенны было выполнено математическое моделирование ее электрического поля в ближней зоне и проведено проектирование конструкции антенны.

Литература

1. **Cancer Facts & Figures 2016**. Atlanta: American Cancer Society. 2016. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cancer.org/>
2. **Цомаева Е.А.** Клиническое значение радиотермометрии в диагностике и дифференциальной диагностике заболеваний органов малого таза: Автореф. дисс.... канд. мед. наук. М.: РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздравсоцразвития России, 2012.
3. **Рахлин В.Д., Адова Г.Е.** Радиотермометрия в диагностике патологии молочных желез, генеталий, предстательной железы и позвоночника. Препринт № 253. Горький: НИРФИ. 1988. 52 с.
4. **Веснин С.Г., Седанкин М.К.** Сравнение микроволновых антенн-аппликаторов медицинского назначения // Биомедицинская радиоэлектроника. 2012. № 10. С. 63—74.

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ РАДИОТЕРМОМЕТР ДЛЯ МАММОЛОГИИ

Сегодня в нашей стране и мире существует проблема раннего выявления онкологических заболеваний. Показатели заболеваемости злокачественными новообразованиями в России за 2014 год по сравнению с 2013 возросли на 5,8 % (на 18,6 % по сравнению с 2004) [1]. Для диагностики различных заболеваний молочных желез в медицине активно внедряется метод микроволновой радиотермометрии [2], который является неинвазивным, пассивным методом, позволяющим регистрировать температуру тела с глубины нескольких сантиметров.

На данный момент в практической медицине используется в основном одноканальный радиотермометр «РТМ-01-РЭС», антенну которого необходимо передвигать по поверхности железы для регистрации температуры в различных точках. С целью оптимизации времени обследования и удобства работы с прибором предложена конструкция многоканального микроволнового радиотермометра (диагностический «бюстгальтер»).

Медицинский прибор представляет собой устройство в форм-факторе бюстгальтера с 18 приемными каналами, по 9 каналов (антенн) на каждый зонд.

Моделирование антенн прибора проводилось в пакете математического моделирования с применением слоистой модели биологического объекта, состоящей из кожи, основной ткани молочной железы и мышц [3]. Антенны спроектированы на базе печатных антенн щелевого типа на керамической подложке. Общая высота антенны и прибора составляет 6 мм, диаметр антенны 23 мм, высота керамический подложки 1,5 мм. Прибор работает в диапазоне частот 3,4-4,2 ГГц.

Литература

1. **Каприн А.Д., Старинский В.В., Петрова Г.В.** Состояние онкологической помощи населению России в 2014 году. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена — филиал ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России, 2015.
2. **Буюклянов С.И., Макимбетов Э.К., Макие К.Б.** Радиотермометрия в диагностике патологии молочной железы// Вестник КРСУ. 2008 Т. 8. № 108.
3. **Седанкин М.К.** Антенны-апликаторы для радиотермометрического исследования тепловых полей внутренних тканей биологического объекта: Дисс. ...канд. техн. наук. М., 2013. 190 с.

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ РАСЧЕТА ПОТЕНЦИАЛОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ЭПИКАРДА МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Целью данной работы является анализ погрешности расчета электрического потенциала с помощью метода граничных элементов (МГЭ). Поскольку в соответствии с теоремой Грина потенциал в любой точке эпикарда определяется интегрированием потенциала и его нормальной производной на поверхности эпикарда и потенциала на поверхности тора [1], то для целей реконструкции потенциала на эпикарде нужно контролировать погрешность прямого интегрирования по указанным поверхностям.

Для оценки погрешности задавались опорные модельные распределения потенциала и его нормальной производной на поверхностях тора и эпикарда, полученные методом конечных элементов с достаточно мелкой сеткой (порядка 10^7 элементов). Использовались дипольная модель генератора сердца, сферическая модель эпикарда, цилиндрическая модель тора. В данной работе исследовалось влияние выбора количества разбиений поверхности эпикарда N_H при достаточно большом фиксированном количестве разбиений поверхности тора $N_B = 400$. Для оценки погрешности вычислялись относительное отклонение нормированных потенциалов (ООН) и коэффициент корреляции Пирсона (КК). На рис. 1 представлена зависимость относительного отклонения нормированных потенциалов от N_H . По полученным результатам можно сделать вывод, достаточное число разбиений по поверхности эпикарда $N_H > 50$. При этом ООН не превышает величины 3 %, КК не ниже 0,99.

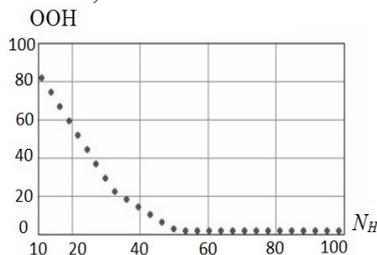


Рис. 1. Зависимость ООН от числа разбиений N_H

Литература

1. Титомир Л.И., Кнеппо П. Математическое моделирование биоэлектрического генератора сердца. М.: Наука, 1999. 447 с.

ГЕНЕРАТОР ЭЛЕКТРОСТИМУЛИРУЮЩИХ ИМПУЛЬСОВ

Современная медицина характеризуется прежде всего стремительным развитием технических средств. В области электротерапии, призванной в значительной мере сократить чрезмерное увлечение фармакологическими средствами, широкое применения находят различные физиотерапевтические методы, в частности электротерапия. В настоящее время доказано [1, 2], что наиболее эффективной формой импульсов воздействия для электротерапии являются знакопеременные импульсы с крутым фронтом и экспоненциальным спадом. Причем постоянная составляющая сигнала должна стремиться к нулю. Для обеспечения этих условий зачастую используют аппаратно-программные средства задания формы сигнала, а устранения постоянной составляющей при однополярном питании достигают с использованием переключателей направления тока возбуждения.

Более простые решения обеспечиваются с использованием индуктивных накопителей энергии, реализуемых, в частности, в ждущих блокинг-генераторах. Схема ждущего блокинг-генератора позволяет наиболее просто решить проблему формирования знакопеременных импульсов (рис.1) с простой регулировкой интенсивности воздействия путем управления длительностью импульса изменением величины резистора времязадающей цепи генератора. За счет оптимизации параметров трансформатора в цепи блокинг-генератора удалось обеспечить заданные требования к параметрам стимулирующих импульсов, а именно: амплитуду положительного импульса свыше 25 В, амплитуду отрицательного выброса свыше 40 В с частотой следования 77 и 135 Гц, со скважностью, регулируемой в диапазоне от 1000 до 50.

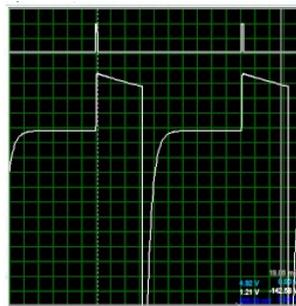


Рис. 1. Осциллограммы сигналов воздействия

Литература

1. **Калакутский Л.И.** Исследование противоболевого электростимулятора «Элиман-401». Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет, 2007.
2. **Загускин С.Л.** Новое поколение программно-аппаратных лечебно-диагностических устройств // Медицинская диагностика и терапия. Известия ЮФУ. Технические науки. 2015.

Г.И. Сиротенко, студ.; рук. Г.В. Жихарева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ МИОКАРДА ПО ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ НИЗКОАМПЛИТУДНЫМ СОСТАВЛЯЮЩИМ ЭКГ-СИГНАЛОВ

Цель настоящей работы – разработка алгоритма обработки результатов реконструкции эквивалентных токовых источников сердца с целью установления наличия ранних патологических изменений миокарда типа замедления проведения возбуждения.

Исходными данными для разработанного алгоритма являются результаты реконструкции эквивалентных дипольных источников сердца по ЭКГ-сигналам 17-электродной ЭКГ-системы, а также по их высокочастотным низкоамплитудным (ВЧ НА) составляющим и вторичным информативным параметрам, рассчитанным по результатам реконструкции [1].

В работе проведен статистический анализ вторичных информативных параметров, полученных с помощью базы испытательных ЭКГ-сигналов как при наличии патологических изменений миокарда, так и при их отсутствии [2]. Построены двумерные гистограммы информативных параметров в осях: параметр, полученный по результатам реконструкции по ЭКГ-сигналам, — параметр, полученный по результатам реконструкции по выделенным ВЧ НА составляющим ЭКГ-сигналов. Определены области попадания 70 % результатов, полученных по сигналам без патологических изменений («норма») и при наличии патологии («патология»). Выбраны информативные параметры, для которых двумерные области «норма» и «патология» имеют существенное расхождение. Разработан алгоритм автоматического определения наличия патологических изменений миокарда. С помощью базы моделированных ЭКГ-сигналов проведена оценка чувствительности и специфичности разработанного алгоритма.

Таким образом, согласно анализу полученных результатов, можно сделать вывод о том, что данный подход может существовать как дополнение к уже имеющимся методам исследования ЭКГ-сигналов и стать хорошим подспорьем для определения патологий типа замедления проведения возбуждения по миокарду на ранней стадии.

Литература

1. **Реконструкция** эквивалентных токовых источников сердца по высокочастотным низкоамплитудным составляющим кардиосигналов /Э. Афшар, Г.В. Жихарева, М.Н. Крамм, Н.О. Стрелков // Сб. докл. III Всероссийской микроволновой конференции. М.: Изд-во ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, 2015. С. 246—250.

2. **Афшар Э., Жихарева Г.В., Куприянова Я.А.** Моделирование испытательных электрокардиографических сигналов при наличии ишемии миокарда // Вестник МЭИ. 2015. № 4. С. 86—91.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

Сердечный ритм – индикатор, отражающий работу механизмов физиологических функций, изменения сердечного ритма (СР) — первые прогностические признаки возможных нарушений здоровья [1].

По итогам работы предложена программа для исследования СР по записям реальных ЭКГ-сигналов в среде MatLab. Разработан графический интерфейс, позволяющий наблюдать числовые параметры СР, а также графики ритмограммы, скаттерграммы и гистограммы RR-интервалов [1]. В качестве примера на рис. 1 данные графики построены для ЭКГ-сигнала длительностью 30 с при частоте дискретизации 2 кГц.

Для анализа численных и графических параметров ритма в работе смоделированы ситуации с нарушением ритма: синусовая тахикардия, брадикардия, предсердная экстрасистолия и бигеминия. Практическая значимость работы заключается в подготовке программного обеспечения и описания для лабораторной работы по курсу «Технические методы диагностических исследований и лечебных воздействий», которая нацелена на изучение студентами способов исследования ритма сердца по визуальным и числовым данным и основных видов аритмий.

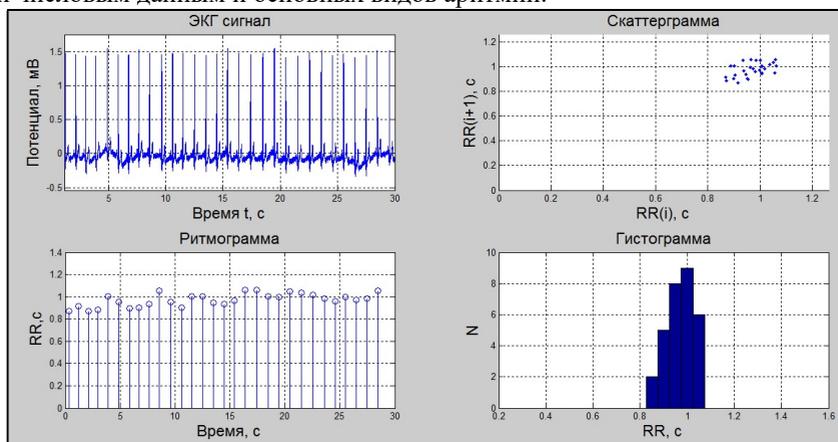


Рис. 1. Графики ЭКГ-сигнала, скаттерграммы, ритмограммы, гистограммы

Литература

1. Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения. Иваново: Ивановская гос. мед. академия, 2000. 183 с.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ РЕЧИ

Извлечение лингвистических конструкций из речевого потока представляет собой непростую задачу. Для того чтобы выделить из оцифрованного звука лингвистические конструкции, применяются различные математические методы в сочетании со специальным компьютерным оборудованием [1]. Целью разработки является развитие речи путем исправления дефектов в произношении трудных, проблемных звуков.



Рис. 1. Схема алгоритма обнаружения дефектов речи

Система для обнаружения дефектов речи разрабатывалась в интерактивной среде программирования MatLab с применением спектрального анализа обработки звукового сигнала.

На рис. 1 представлена схема алгоритма обнаружения дефектов речи. Для решения задачи распознавания необходимо выделить первичные признаки речи, которые будут использованы на последующих этапах процесса распознавания. Для этого успешно применяется спектральный анализ. Исходная информация представлена в виде массива временных отсчетов речевого сигнала (обычно используют wav файлы). Полученные цифровые данные подвергаются обработке с целью определения частотного диапазона и других характеристик сигнала. Реальный речевой сигнал имеет конечную длительность, но при представлении в частотной области его спектр неограничен. Поэтому сигнал сегментируют на участки 15—30 мс. Функция окна Хэмминга уменьшает спектральные искажения сигнала из-за граничных условий. Применение окна целесообразно для интервалов, превышающих 15 мс или включающих несколько периодов основного тона. Для спектрального анализа сигнала используется быстрое дискретное преобразование Фурье (БПФ). Анализ спектров речевых сигналов позволяет установить форму огибающей и выделить области формантных частот, так как место и ширина формантных областей важны для распознавания речи.

Литература

1. Фролов А., Фролов Г. Синтез и распознавание речи. Современные решения. [Электронный ресурс] 2003. Режим доступа: <http://www.frolov-lib.ru>

Т.А. Хренникова, студ.; рук. В.А. Гречихин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ТОЧНОСТЬ ОЦЕНКИ АМПЛИТУДЫ КОЛЕБАНИЙ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГОМОДИННОГО ЛАЗЕРНОГО ДОПЛЕРОВСКОГО ВИБРОМЕТРА

В настоящее время в различных отраслях промышленности и в научных исследованиях применяются различные методы и средства непрерывного прецизионного контроля параметров движения объектов, виброперемещений. В качестве прецизионных средств измерения параметров виброколебаний широкое распространение получили лазерные доплеровские виброметры (ЛДВ). Границы применимости метода измерений с использованием ЛДВ могут быть найдены путем решения задачи определения потенциальной точности оценки информационного параметра сигнала ЛДВ.

В докладе проведен анализ потенциальной точности оценки индекса модуляции сигнала гомодинного ЛДВ с гармонической частотной модуляцией при известных и неизвестных неинформационных параметрах сигнала. С использованием неравенства Рао—Крамера [1] получены выражения для нижней границы дисперсии эффективной оценки индекса модуляции для случая известных неинформационных параметров. Проведен расчет зависимостей данной границы от отношения сигнал-шум и от параметров сигнала.

При неизвестных неинформационных параметрах сигнала ЛДВ нижняя граница дисперсии оценки индекса модуляции была исследована численным методом путем расчета соответствующего диагонального элемента корреляционной матрицы ошибок \mathbf{D} , которая вычислялась путем обращения информационной матрицы Фишера \mathbf{J} [1].

Приведено сравнение потенциальной точности оценки индекса модуляции с результатом обработки модели смеси сигнала гомодинного ЛДВ и гауссова широкополосного шума спектральным методом [2].

Для медицины лазерные методы представляют интерес при дистанционном измерении процессов гемодинамики, которое позволяет выполнять исследования состояния сосудистой системы человека в различных точках поверхности тела [3].

Литература

1. **Перов А.И.** Статистическая теория радиотехнических систем. М.: Радиотехника, 2003.
2. **Павленко Ю.Ф., Шпаньон П.А.** Измерение параметров частотно-модулированных колебаний. М.: Радио и связь, 1986.
3. **Глущенко Л.А., Запругаев Ф.А.** Лазерный метод регистрации параметров пульсовой волны. // Сб. трудов конф. «Прикладная оптика – 2012». СПб.: Оптическое общество им. Д.С. Рождественского, 2012. Т. 1.

Д.А. Хромов, студ.; рук. М.К. Седанкин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕДИЦИНСКОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПУЗЫРНО-МОЧЕТОЧНИКОВОГО РЕФЛЮКСА

Пузырно-мочеточниковый рефлюкс (ПМР) – это нефизиологический обратный заброс мочи из мочевого пузыря в мочеточник и почку. ПМР диагностируется у 1 % детского населения и у 30—50 % детей с инфекциями мочевых путей. Поздняя диагностика заболевания приводит к хронической почечной недостаточности и нефрогенной гипертензии [1]. Ведущее место в выявлении ПМР занимают методы лучевой диагностики: микционная цистоуретрография и радионуклидная цистограмма. Оба метода сопряжены со значительными травмами для детей, так как требуют катетеризации мочеиспускательного канала и применения ионизирующего излучения. Микроволновую радиотермометрию можно рассматривать как перспективный метод выявления ПМР, который является неинвазивным и безвредным. Для диагностики ПМР необходимо нагреть мочу внутри мочевого пузыря и затем измерить с помощью радиотермометра температуру почки, в которую в случае развившейся болезни происходит отток предварительно прогретой мочи. Измеряя температуру на проекции почки можно судить о наличии или отсутствии рефлюкса. Для измерения температуры внутри почки необходимо адаптировать РТМ-технологии для выявления ПМР.

Для адаптации технологии к использованию в диагностике ПМР создана математическая модель радиотермометрии многослойной структуры биологического объекта, содержащей почку, в соответствии с данными, представленными в работе [2]. С помощью численного решения уравнений Максвелла в программе электродинамического моделирования проведено математическое моделирование поля спиральной антенны, описанной в работе [2], по методике, изложенной в [3]. Результаты, полученные в ходе моделирования, используются для адаптации существующей волноводной серийной антенны, работающей в диапазоне 3,4—4,2 ГГц.

Литература

1. **Новые** подходы лучевой диагностики пузырно-мочеточникового рефлюкса у детей / В.А. Шарифуллин и др. // Медицинская визуализация. 2008. № 6. С. 49—54.
2. **Modeling** the detectability of vesicoureteral reflux using microwave radiometry / Stauffer P. [et al.] // Phys. Med. Biol. 2010. Vol. 55. No 18. P. 5417—5435.
3. **Седанкин М.К.** Антенны-апликаторы для радиотермометрического исследования тепловых полей внутренних тканей биологического объекта: Дисс. ...канд. техн. наук. М., 2013. 190 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СЕРДЦА

В задачах электрокардиографии, как правило, рассматривают электрокардиосигналы (ЭКС), снимаемые с поверхности торса человека. Однако более детальная информация об электрической активности сердца получается с поверхности эпикарда или поверхности, максимально приближенной к эпикарду.

Целью проводимого исследования является локализация области электрической активности сердца по сигналам многоканальных отведений в течение кардиоцикла. Для определения этой области мы находим потенциал и его нормальную производную на вспомогательной поверхности, расположенной внутри торса и окружающей область эпикарда.

Будем пользоваться формулой Грина [1]:

$$\phi(P) = \frac{1}{2\pi} \int_{S_A} \frac{1}{R} \cdot \frac{\partial \phi_A}{\partial n} dS - \frac{1}{2\pi} \int_{S_A} \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{1}{R} \right) \cdot \phi_A dS - \frac{1}{2\pi} \int_{S_B} \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{1}{R} \right) \cdot \phi_B(P) dS, \quad (1)$$

где P — точка наблюдения; S_B , S_A — поверхность торса и вспомогательная поверхность соответственно; R — расстояние между точкой наблюдения и точкой на поверхности интегрирования; $\frac{\partial}{\partial n}$ — производная

по направлению внешней нормали к поверхности интегрирования (внешней нормали по отношению к области между поверхностями интегрирования); dS — дифференциальный элемент поверхности. Если разбить рассматриваемые поверхности на конечные элементы и расположить точку наблюдения сначала на поверхности торса, а затем на вспомогательной поверхности, то мы получаем две системы линейных алгебраических уравнений, решив которые, получим искомые распределения потенциалов на вспомогательной поверхности.

В работе мы реализовали алгоритм расчета матриц коэффициентов получаемых СЛАУ и протестировали алгоритм решения СЛАУ для случая, когда поверхности являются эллиптическими цилиндрами.

Литература

1. Титомир Л.И., Кнеппо П. Математическое моделирование биоэлектрического генератора сердца. М.: Наука, Физматлит, 2000. 448 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИИ

Расшифровка сигналов электроэнцефалографии (ЭЭГ) является одной из важнейших задач современной медицины. Понимание того, какие сигналы ЭЭГ формируются в результате определенных действий человека, позволит создавать изделия, управляемые посредством так называемых нейро-интерфейсов [1].

В докладе рассмотрены вопросы разделения сигнала ЭЭГ на отдельные ритмы, занимающие определенные полосы частот, а также результаты поиска участков сигнала (паттернов), связанных с определенным физическим и/или психологическим состоянием. Регистрация ЭЭГ сигналов проводилась при помощи установки NVX как в состоянии покоя испытуемого, так и при совершении им определенных действий. С использованием созданного банка КИХ-фильтров проведена цифровая обработка ЭЭГ сигналов и выделение отдельных ритмов (рис. 1).

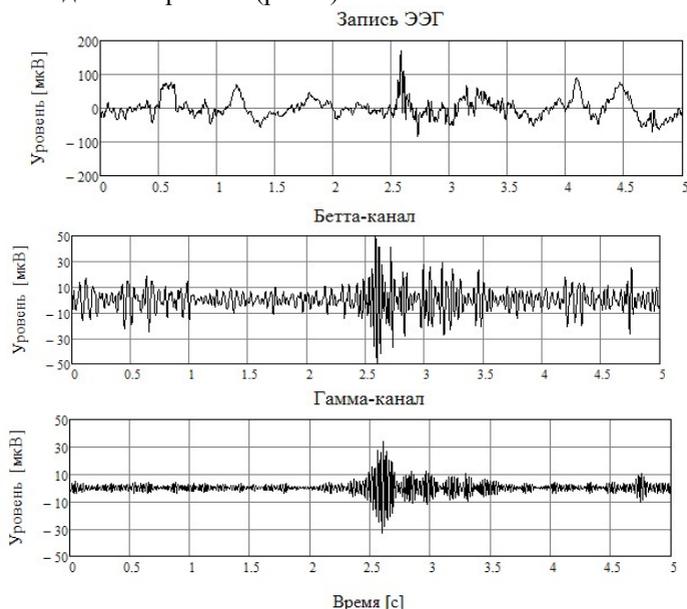


Рис. 1. Пример фильтрации сигнала ЭЭГ

Литература

1. Сидоренко А.В., Солонович Н.А. Электроэнцефалографические сигналы как сложные нелинейные колебания, отображающие процессы головного мозга // Радиотехника и электроника. 2006. Т. 51. № 4. С. 474—482.

А.С. Шипаева, студ.; рук-ли Д.В. Леонов, асп.;
Е.В. Шалимова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБНАРУЖЕНИЕ МИКРОКАЛЬЦИНАТОВ В БИООБЪЕКТЕ ПРИ ПОМОЩИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕДИЦИНСКОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА (УЗМДУ)

Отложения микрокальцинатов зачастую свидетельствуют о нарушении работы организма, поэтому важно суметь вовремя их обнаружить. Микрокальцинаты в молочных железах (МЖ) являются предвестниками рака молочной железы [1-3]. Ранняя диагностика рака молочной железы носит комплексный подход, который состоит из множества методов. В докладе сравниваются наиболее распространенные из них, делается вывод о перспективности использования серошкального и доплеровских режимов УЗМДУ для диагностики рака МЖ.

Кальцинаты можно обнаружить в В-режиме, где они оставляют за собой характерные тени. Однако этой методике не хватает точности [4]. Известны предложения использовать явление мерцающего артефакта для улучшения результатов. Оно возникает в режиме цветового доплеровского картирования (ЦДК) и проявляется в виде быстро меняющихся окрашенных пикселей в окрестности неподвижных эхогенных включений.

Явление мерцающего артефакта изучено недостаточно. Известна его сильная зависимость от параметров сканирования и обработки [2, 4]. Поэтому была разработана программа обработки доплеровских данных в режиме ЦДК. Она имеет открытый код и позволяет управлять всеми этапами обработки. На ее вход поступают «сырые» данные с выхода квадратурного детектора УЗМДУ Сономед-500 фирмы Спектромед.

В докладе представлены возможности разработанной программы. На основании анализа сигналов от микрокальцинатов предложен новый режим УЗМДУ, позволяющий повысить вероятность обнаружения микрокальцинатов [1]. При помощи дополнительного источника возбуждения исследуются резонансные свойства микрокальцинатов.

Литература

1. Леонов Д.В., Кульберг Н.С., Фин В.А. Исследование мерцающего артефакта на фантоме в режиме цветового доплеровского картирования. // ИУСА: Труды IV ВНКМУ с международным участием. Т. II. Тверь: ТГТУ, 2016. С. 44—51.
2. Громов А.И., Кубова С.Ю. Ультразвуковые артефакты. М.: Издательский дом Видар-М, 2007. 64 с.
3. **Microcalcifications** in Breast Tissue Phantoms Visualized with Acoustic Resonance Coupled with Power Doppler US: Initial Observations / C. Seghal et al. // *Radiology*. July 2002. P. 265—269.
4. **Systematic** Analysis of Factors Related to Display of the Twinkling Artifact by a Phantom / M. Wang, J. Li, J. Xiao et al. // *Ultrasound Med*. 2011; 30: 1449–1457.

*А.М. Эверскова, студ.; рук-ли М.Н. Крамм, к. т. н., доц.;
Н.О. Стрелков, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

РЕКОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА СЕРДЦА ПРИ ПОМОЩИ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФА «ПОЛИСПЕКТР-12/ЕХ»

Сердечно-сосудистые заболевания длительное время могут протекать в скрытой форме. Применение метода реконструкции эквивалентного электрического генератора сердца (ЭГС) [1] ориентировано на повышение диагностической эффективности электрокардиографии.

Метод реконструкции электрического генератора сердца изначально был реализован для специализированного шестнадцатиканального электрокардиографа. Особый интерес представляет применение метода реконструкции на современных серийно выпускаемых десятиканальных портативных электрокардиографах «ПОЛИСПЕКТР-12/ЕХ» [2]. Поскольку в этих электрокардиографах реализовано меньшее число независимых каналов, то важно рассмотреть погрешность и стабильность результатов, получаемых с помощью «ПОЛИСПЕКТР-12/ЕХ».

Для реконструкции ЭГС на десятиканальном электрокардиографе нами была осуществлена модификация системы наложения электродов для 12ЕХ, а также проведена коррекция программного обеспечения, связанная с изменением системы наложения электродов, числа электродов, способа формирования и визуализации канальных сигналов, формата записи в электрокардиографе.

При помощи «ПОЛИСПЕКТР-12/ЕХ» были получены синхронно записанные реальные электрокардиосигналы отведений длительностью 30 с, обработка которых осуществлялась модифицированной программой. Итог работы программы — устойчивые результаты изменения момента диполя, треков координат ЭГС. Невязка по потенциалам в пределах R-пика составляет 12—14 %, что согласуется с невязкой, получаемой с помощью шестнадцатиканального электрокардиографа. Характер изменения координат треков диполя для десятиканального электрокардиографа аналогичен шестнадцатиканальному.

Литература

1. Стрелков Н.О., Винокуров Д.С., Крамм М.Н. Методика реконструкции параметров токового диполя сердца на модели торса человека в виде эллиптического цилиндра // Сборник материалов XV МНТК Юго-Зап. гос. ун-та. Курск, 2012. С. 45-48.
2. **Руководство** по эксплуатации ПОЛИСПЕКТР-12/ЕХ. Иваново: ООО «Нейрософт», 2014.

Направление
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научный руководитель направления —

директор АВТИ, д.т.н.,
профессор В.П. Лунин

Секция 13

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Председатель секции — к.т.н., доцент В.С. Зубов

Секретарь секции — к.ф.-м.н., доцент А.Е. Вестфальский

А.И. Бондарев, студ.; рук. А.Б. Фролов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СОЗДАНИЕ КЛАССА МЕТОДОВ АРИФМЕТИКИ ПОЛЕЙ $GF(7^N)$ В БИБЛИОТЕКЕ AAL

С начала текущего столетия активно изучаются криптографические протоколы, основанные на операции спаривания точек суперсингулярной эллиптической кривой [1]. При этом в предположении, что с увеличением характеристики поля можно повысить информационную скорость протокола (т.е. число его исполнений за единицу времени), в ряде работ изучаются арифметика полей характеристики 7 и особенности реализации операции спаривания дивизоров суперсингулярной гиперэллиптической кривой над таким полем [2, 3]. Еще одним направлением повышения информационной скорости криптографических протоколов, основанных на спаривании, является применение сочетаний различных базисов конечного поля [4, 5].

Для экспериментальной поддержки указанных исследований требуется особый класс методов библиотеки, содержащий методы, реализующие как базовые, так и производные операции арифметики конечных полей характеристики семь. Созданию этого класса и посвящен данный доклад.

Класс написан на языке C++. В его реализации использованы базовые типы библиотеки AAL.

При написании данного класса решалась проблема скорости вычислений, связанная с использованием высоких степеней полиномов.

Литература

1. Joux A. One round protocol for tripartite Diffie-Hellman // LNCS. 2000. 1838. P. 385—393.
2. Lee E., Lee H.-S., Lee Y. Fast computation of Tate pairing on general divisors for hyperelliptic curves of genus 3. Cryptology ePrint Archive, Report 2006/125. <http://eprint.iacr.org/2006/125>.

3. **О схемной** и программной реализации арифметики в конечных полях характеристики 7 для вычисления спариваний. *Фундаментальная и прикладная математика* / А.А. Болотов, С.Б. Гашков, А.А. Бурцев и др. М.: Центр новых информационных технологий МГУ, 2009. С. 75—111.

4. **Gashkov S., Frolov A., Sergeev I.** Arithmetic in Finite Fields Supporting Type-2 or Type-3 Optimal Normal Bases/ In *Dependability Engineering and Complex Systems*, Volume 470 of the series *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pp. 157—168, 2016.

5. **Гашков С.Б., Фролов А.Б., Лукин С.А.** Оптимальные нормальные базисы 2-го и 3-го типов в конечных полях характеристики семь // *Вестник МЭИ*. 2016. № 1. С. 44—49.

*Р.А. Закирова, А.Р. Мугалимова, студенты;
рук-ли Р.Г. Мугалимов, д.т.н., проф.; А.Н. Калитаев, к.т.н., доц.
(МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск)*

ПРИМЕНЕНИЕ ИТ-ТЕХНОЛОГИЙ В ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТАХ СЕБЕСТОИМОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

ИТ-технологии применяются во всех областях науки и техники. В работе рассматривается применение ИТ-технологий для расчета себестоимости ремонта и модернизации асинхронного двигателя (АД) с повышением класса энергоэффективности. Создание программного продукта необходимо для расчета оптимизации трудовых и материальных ресурсов. Стоимость ремонта и модернизации АД складывается из двух составляющих: трудовые и материальные затраты [1]. Технологические операции при ремонте и модернизации АД выполняются последовательно или параллельно-последовательно с учетом среднестатистических параметров времени и стоимости рабочего часа специалиста. Если необходимо сократить количество времени, затраченное на ремонт АД, или общую стоимость ремонта АД, в программном продукте предусмотрен выбор вариантов оптимизации: 1 — минимизация материальных затрат для заданного времени ремонта; 2 — минимизация трудовых и материальных затрат при среднестатистическом времени ремонта. Вариант оптимизации 1 предусматривает выполнение определенных технологических операций параллельно, т.е. использование принципа разделения операций по времени. Для выполнения данного варианта оптимизации составляется сетевая модель технологических операций. По сетевой модели определяется критический путь, по которому минимизируется себестоимость. Вариант оптимизации 2 предусматривает привлечение минимального количества специалистов. Сетевая модель предусматривает максимальное число последовательных операций. Минимизируются трудовые ресурсы.

Разработанный программный продукт для расчета и оптимизации себестоимости капитального ремонта асинхронного двигателя позволяет повысить эффективность ремонта и модернизации асинхронных двигателей за счет сокращения трудовых и материальных ресурсов.

Литература

1. Мугалимов Р.Г., Закирова Р.А., Мугалимова А.Р. Методика и программный комплекс для расчета себестоимости традиционного капитального ремонта и ремонта с повышением класса энергоэффективности асинхронного двигателя // Электронный журнал «Машиностроение» Russian Internet Journal of Industrial Engineering. 2015. № 3.

А.В. Затей, асп.; рук. А.Б. Фролов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СКОРОСТИ СХЕМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ С ОБЪЕДИНЕНИЕМ УСЛОВИЙ ИХ КОРРЕКТНОСТИ

Изучаются схемы предварительного распределения ключей при синтезе НАКДР(n, q, L)-схемы (Hased Key Distribution Pattern) [1], влияние объединения условий их корректности на параметры схемы, такие как *информационная скорость* [2].

Такие схемы являются обобщением КДР(n, q)-схем [3] (семейства множеств ключей $\{K_1, K_2, \dots, K_n\}$, таких, что объединение множеств K_i , $i = 1, \dots, n$, содержит q элементов, включение $K_i \cap K_j \subseteq K_r$ возможно, если r равно i или j). В НАКДР(n, q, L)-схеме ограничение на такие семейства множеств ослабляются за счет применения к ключам хеширования различной глубины (от 0 до L). Семейству $\{K_1, K_2, \dots, K_n\}$ сопоставляется множество $\{D_1, D_2, \dots, D_n\}$ числовых векторов со значениями от 0 до L , значения элементов векторов определяют числа применений хеш-функции к соответствующим элементам. Если не выполняется указанное ограничение, то набор D_r чисел, соответствующих одинаковым элементам множеств K_i и K_j , должен быть не сравнимым по отношению «меньше или равно» с поэлементным максимумом соответствующих чисел из наборов D_i и D_j .

В работе [4] описан способ формирования таких схем, также получены параметры таких схем, позволяющие исследовать *информационную скорость* синтезируемых схем.

В настоящей работе рассматриваются теоретические оценки исходных параметров и их влияние на один из ключевых параметров схемы предварительного распределения ключей — *информационную скорость*. С помощью таких оценок предлагается повысить информационную скорость схемы при выборе ее начальных параметров до ее синтеза.

Литература

1. Фролов А.Б., Щуров И.И. Защищенные коммуникации при нецентрализованном предварительном распределении ключей // Вестник МЭИ. 2008. № 4. С. 102—110.
2. Stinson D.R. On Some Methods for Unconditionally Secure Key. Distribution and Broadcast Encryption. Designs, Codes and Cryptography. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, USA, 1997.
3. On key storage in secure networks / M. Dyer, T. Fenner, A. Frieze, A. Thomason // Journal of Cryptology. 1995. М. 8. P. 189—200.
4. Фролов А.Б., Затей А.В. Схемы предварительного распределения ключей допускающие коалиции // Вестник МЭИ. 2013. № 6. С. 166—172.

ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ПРОПУСКА ЧАСТИЦ ДЛЯ ФИЛЬТРА С ОТВЕРСТИЕМ

Аэрозольные фильтры используются в различных областях производства, начиная с фильтров индивидуальной защиты органов дыхания, заканчивая очисткой заводских выбросов от опасных веществ и бытовой вентиляцией. Для очистки воздуха от разного рода частиц-загрязнителей в промышленной энергетике чаще всего используют волокнистые фильтры [1]. Вследствие хрупкой структуры фильтров они не подлежат очистке, т.е. снижение эффективности фильтра ведет к его скорой замене.

Основной проблемой фильтрации аэрозолей является то, что фильтры, состоящие из пористых слоев, могут быть повреждены с образованием пор различных размеров. При работе респираторов во время дыхания человека между лицом и маской могут быть сформированы зазоры. В результате характеристики фильтров и защитных масок будут меняться в связи с дополнительным движением аэрозоля через отверстия и зазоры.

В настоящее время недостаточно изучен проскок аэрозольных частиц в отверстие внутри среды с пористыми стенками в качестве границы между пористой зоной и пространством свободной жидкости. В этом случае изменение проницаемости пористой среды приводит к изменению расхода через пористую среду и расхода через отверстие. На сегодняшний день не существует методик определения влияния повреждений на качество и срок службы фильтрующего материала.

На данный момент актуальным является детальное исследование характеристик фильтра с техническими повреждениями. Построения полей концентрации частиц и оценка величины коэффициента проскока аэрозольных частиц через отверстие в зависимости от различных параметров могут стать основой для разработки фильтров нового поколения.

В данной работе построена математическая модель фильтра с отверстием. Проведены численные расчеты течения газозвеси при различных проницаемостях фильтрующей среды, относительного размера отверстия, расхода воздуха в случае стационарного режима течения. Приведено сравнение с экспериментальными данными других исследователей. Построена обобщенная зависимость для коэффициента пропуска частиц в фильтре с повреждениями и неоднородной проницаемостью.

Литература

1. **Filtration** and loading characteristics of granular bed filters / Y.-M. Kuo, S.-H. Huang, W.-Y. Lin et al. // *Journal of Aerosol Science*. 2010. Vol. 41. P. 223—229.

Н.Е. Крымов, студ.; рук. А.А. Амосов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ГОМОГЕНИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ РАДИАЦИОННО-КОНДУКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА В СИСТЕМЕ СТЕРЖНЕЙ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

Рассматривается краевая задача, описывающая радиационно-кондуктивный теплообмен в системе металлических стержней круглого сечения :

$$-\operatorname{div}(\lambda \nabla u) = f, \quad x \in G = \bigcup_{i,j} G_{i,j}; \quad (1)$$

$$\lambda \frac{\partial u}{\partial n} + h(u) = \int_{\partial G} h(u(\xi)) \varphi(\xi, x) d\sigma(\xi) + \int_{\Gamma} h(u_{\Gamma}(\xi)) \varphi(\xi, x) d\sigma(\xi), \quad x \in \partial G. \quad (2)$$

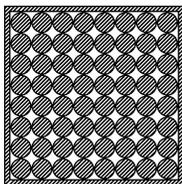


Рис. 1

Искомой является абсолютная температура $u(x)$, определенная на объединении сечений стержней $G_{i,j}$ радиуса ε (рис. 1). Здесь λ — коэффициент теплопроводности; $h(u) = \sigma_0 u^4$ — плотность потока теплового излучения; σ_0 — постоянная Стефана—Больцмана; Γ — граница

«коробки», в которой находятся стержни; φ — элементарный угловой коэффициент.

Задачу (1), (2) предлагается аппроксимировать ее гомогенизированным аналогом — краевой задачей:

$$-2\varepsilon \Delta h = \frac{\pi}{4} f, \quad (x, y) \in \Omega; \quad (3)$$

$$2\varepsilon \frac{\partial h}{\partial n} - (\pi - 2)\varepsilon^2 \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + (h - h_{\Gamma}) = \varepsilon \frac{\pi}{4} f, \quad (x, y) \in \partial\Omega_y; \quad (4)$$

$$2\varepsilon \frac{\partial h}{\partial n} - (\pi - 2)\varepsilon^2 \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + (h - h_{\Gamma}) = \varepsilon \frac{\pi}{4} f, \quad (x, y) \in \partial\Omega_x; \quad (5)$$

$$\Omega = (\varepsilon, 1 - \varepsilon) \times (\varepsilon, 1 - \varepsilon), \quad \partial\Omega_x = (\varepsilon, 1 - \varepsilon) \times \{\varepsilon, 1 - \varepsilon\}, \quad \partial\Omega_y = \{\varepsilon, 1 - \varepsilon\} \times (\varepsilon, 1 - \varepsilon).$$

Здесь $h = h(v)$, где v — приближение к u .

Предложенный подход программно реализован на ЭВМ. Проведенные вычислительные эксперименты показывают, что метод обладает высокой точностью для материалов с большими значениями коэффициента теплопроводности λ и стремится к нулю при стремлении к нулю радиуса стержней ε .

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (соглашение № 14-11-00306).

НОВАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА КРУСКАЛА

Методы Прима и Крускала являются основными методами построения кратчайшего каркаса графа. Сравняются быстродействующие их реализации, использующие пирамидальный выбор ребер каркаса. Оценка сложности метода Крускала затруднена наличием в нем таких операций, как проверка двусвязности подграфов. В больших плотных графах эти операции заметно снижают производительность метода.

Предлагается выполнять эти операции на уровне *метаграфа*, образуемого блоками — связными частями строящегося каркаса. Блоки — узлы метаграфа нумеруются в порядке появления, начиная с 1. Вершины графа помечены этими номерами, причем не

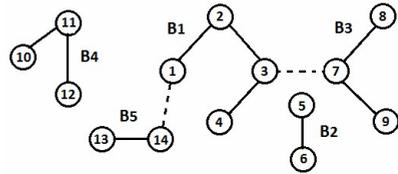


Рис. 1

включенные в каркас имеют метку 0. На рис.1 показаны 5 блоков: B_1 — B_5 . Вершины 1—4 имеют метку 1, вершины 5—6 — метку 2 и т.д. Метаграф и структура блоков — деревья. Матрица M метаграфа изначально заполнена нулями. Блоки растут: могут присоединяться новые ребра, помечаемые номером блока. Присоединение ребер, инцидентных вершинам с одинаковой меткой, пресекается, так как влечет двусвязность (наличие циклов в блоке), не допустимую в каркасе. Выбор ребра, инцидентного двум вершинам с меткой 0, порождает новый блок.

Обратимся к рис. 1. Допустим, выбрано ребро $\{3—7\}$. Такое соединение блоков B_1 и B_3 возможно, так как не влечет двусвязности. Признаком является $M_{1,3} = 0$. Факт соединения фиксируется как $M_{1,3} = 1$: предотвращается включение в каркас любого, инцидентного вершинам с метками 1, 3, ребра (предупреждается двусвязность). Далее выбирается следующее ребро.

	1	2	3	4	5
1	1	0	1	0	1
2	0	1	0	0	0
3	1	0	1	0	0
4	0	0	0	1	0
5	1	0	0	0	1

Матрица M после соединения блоков

Рассмотрим общий случай. Назовем одну из двух соединяемых частей каркаса левой, другую часть — правой. Чтобы избежать двусвязности, действиями $M_{ij} = 1$ запрещается включение ребер, соединяющих каждый блок B_i левой части с каждым блоком B_j правой части. Перебор блоков и с левой, и с правой стороны позволяет избежать множества проверок двусвязности на уровне ребер графа.

Итак, число и сложность проверок на двусвязность сокращаются (число блоков — не больше $n/2$, где n — число вершин графа).

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНИКИ ОТЛОЖЕННОГО ПЕРЕНОСА В АРИФМЕТИКЕ ДЛИННЫХ ЦЕЛЫХ ЧИСЕЛ

Арифметические операции над длинными целыми числами являются наиболее востребованными в программных библиотеках современной компьютерной алгебры. Актуальной становится задача ускорения таких операций. В данной работе исследуется применение техники отложенного переноса [1, 2] для увеличения скорости вычисления произведения длинных целых чисел.

Многоразрядное число $X = \sum_{i=0}^{n-1} x_i B^i$ удобно представлять по некоторо-

му основанию $B = 2^w$ в виде массива целых беззнаковых чисел. Разрядность B часто выбирают равной длине машинного слова ($w = 32$ или 64 бит для современных процессоров). Произведение двух таких чисел $P = XY$ можно вычислить методом сдвигов и сложений [3] по формуле

$$P = XY = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} x_i y_j B^{i+j} = \sum_{i=0}^{2n-2} B^i \sum_{s+t=i; s, t \geq 0} x_s y_t.$$

Для эффективной реализации метода требуется инструкция умножения (с накоплением) двух w -битных чисел с корректной обработкой возникающих переносов на каждом шаге вычислений. Для учета переносов требуются дополнительные инструкции сложения.

Использование техники отложенного переноса позволяет сократить число инструкций сложения, но несколько увеличивает объем памяти, необходимой для хранения операндов и результатов вычислений. Суть метода в том, что длинные числа записываются по укороченному основанию $B = 2^W$, где $W < w$. Оставшиеся $(W - w)$ бит используются для накопления переносов. При этом сокращается число операций сложения.

В ходе исследования были определены эффективность и критерии применимости данного метода. Так, например, для 512-битных чисел использование указанной техники позволило увеличить скорость вычисления произведения по методу сдвигов и сложений на 20 %.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, проект №14-01-00671-А.

Литература

1. **Comba P.** Exponentiation cryptosystems on the IBM PC // IBM Systems Journal. 1990. No 29. С. 526—538.
2. **Kovtun V.Yu., Okhrimenko A.O.** Integer squaring algorithm with delayed carry mechanism // Безпека інформації. 2013. Т. 3. № 19. С. 188—192.
3. **Brent R., Zimmermann P.** Modern computer arithmetic. New York: Cambridge University Press, 2010.

Д.Ш. Сабирзянов, асп.; рук. А.Б. Фролов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОНЛАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЯ КРОССПЛАТФОРМЕННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С БЕЗОПАСНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПЛАТНЫМ КОНТЕНТОМ

Изучается вопрос создания удобного интуитивно понятного конструктора кроссплатформенных мобильных приложений для управления систем типа «Умный дом».

Приложения могут создаваться через обычный веб-браузер и будут доступны на любой мобильной платформе: iOS, Android, Windows Phone. Помимо информационной функции созданные приложения могут содержать в себе медиа-контент (аудио-, видеофайлы) с возможностью воспроизведения, зашифрованный контент [1], [3], в том числе и медиа-контент [2]. К тому же, через созданные приложения можно реализовывать часть контента по схеме встроенных покупок. Конструктор приложений ориентирован в первую очередь на пользователей, не владеющих языками программирования. Конструктор также может применяться в разных сферах деятельности, например, в коммерческом секторе или же в автоматизации зданий (системы «Умный дом»).

В настоящей работе рассматривается архитектура конструктора кроссплатформенных мобильных приложений с заявленным выше функционалом, альтернативные решения при ее построении, обоснование выбора тех или иных технических решений и их реализация.

Также будет освещена концепция конструктора системы типа «Умный дом».

Литература

1. **Гашков С.Б., Черепнев М.А., Применко Э.А.** Криптографические методы защиты информации. М.: Академия, 2010.
2. **Raywenderlich.com** Tutorial Team: Adam Burkepile, Charlie Fulton, Matt Galloway, Jacob Gundersen, Kauserali Hafizji, Matthijs Hollemans, Felipe Laso Marsetti, Marin Todorov, Brandon Trebitowski, Ray Wenderlich iOS 6 By Tutorials, First Edition, Razeware LLC, 2012.
3. **Хорев П.Б.** Методы и средства защиты информации в компьютерных системах. М.: Академия, 2005.

Л.В. Савкин, соиск.; рук. А.С. Дмитриев, д.ф.-м.н., проф.,
(ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва)

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЛАБИРИНТНЫХ СИСТЕМ ТОМАСА В НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДАХ CLM-МОДУЛЯЦИИ

Работа посвящена разработке и исследованию методов *хаотической лабиринтной модуляции* (CLM-модуляция), основанных на идее использования «лабиринтного» хаоса Томаса [1] в формировании несущего хаотического высокочастотного сигнала $C(x)$ радиодиапазона, в который посредством параметрических и непараметрических схем подмешивания [2] вводится низкочастотный информационный сигнал $I(x)$.

В докладе представлены два типа математических моделей лабиринтных систем Томаса, относящихся к непараметрическим схемам ввода полезного информационного сигнала в методах CLM-модуляции.

Первый тип математических моделей лабиринтных систем основан на системе уравнений стандартного осциллятора Томаса, в котором в качестве нелинейной функции выступает *гармоническая функция* $\sin(x)$ с параметрическим слагаемым b . При этом непараметрический метод CLM-модуляции подразумевает использование таких схем подмешивания полезного низкочастотного сигнала $I(x)$ в хаотический сигнал $C(x)$ при котором $b(t) = \text{const}$.

Второй тип математических моделей лабиринтных систем основан на использовании модифицированных осцилляторов Томаса, в которых в качестве нелинейных функций выступают уже *ангармонические функции* $A(x) = g_1(\alpha x) \cdot g_2(\beta x) \cdot \dots \cdot g_n(\omega x)$, где $g(x)$ — гармоническая функция $\sin(x)$ или $\cos(x)$ с набором частотных коэффициентов $\{\alpha, \beta, \dots, \omega\}$ из множества целых положительных чисел \mathbf{Z}^+ .

Особое внимание в работе уделено способам управления спектральными характеристиками лабиринтных систем Томаса, лежащих в основе построения *прецизионных* [2, 3] генераторов «лабиринтного» хаоса.

Литература

1. **Sprott J.C., Chlouverakis K.S.** Labyrinth Chaos // International Journal of Bifurcation and Chaos, Appl. Sci. Eng. 2007. Vol. 17. No. 6. P. 2097—2108.
2. **Дмитриев А.С., Панас А.И.** Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 252 с.
3. **Savkin L.V.** Analysis of the methods of implementation of the precision chaos generators. Dynamics, Bifurcation, and Chaos 2016 (DBC III) // International Conference-School of Lobachevsky University, July 18 – 22, 2016. Nizhny Novgorod, 2016. P. 36.

Д.К. Чирков, студ.; рук. Н.Ф. Алексиадис, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ТЕХСЧЕТЧИК МАТЕМАТИЧЕСКОГО РЕДАКТОРА TEX

При написании статей и публикаций для математических научных журналов достаточно популярно использование языка верстки TeX с надстройкой в виде набора макропакетов, таких как LaTeX. Однако в связи с некоторыми особенностями данного формата возникают трудности при получении статистических данных документа, необходимых при редактировании научных статей, а также расчета необходимых характеристик документа, таких как число авторских листов. В качестве варианта решения данной проблемы на языке C++ была разработана и впоследствии зарегистрирована компьютерная программа «Техсчетчик математического редактора TeX».

Задачей ставилось разработать компьютерную программу для автоматического анализа в документе основных структур TeX и надстроек LaTeX, упомянутых в [1], [2], целью которой является получение интересных при верстке статьи параметров: количества литературных и командных символов, слов, команд, строк исходного документа, абзацев, числа авторских листов, а также оценки предварительного количества страниц статьи после компиляции согласно введенным параметрам (формата листа, размера шрифта и др.)

Алгоритм программы разработан на основе теории построения синтаксических анализаторов, а именно LR-анализаторов [3].

Далее была разработана новая версия программы с функцией учета графических данных, используемых в статье (графиков, диаграмм и других изображений).

Программа применима при верстке и редактировании научных математических статей для предварительной оценки размеров и размещения в изданиях.

Настоящая компьютерная программа зарегистрирована в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ) от 01 июля 2016 г. [Свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ №201667370].

Литература

1. **Кнут Д.Э.** Все про TeX. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003.
2. **Львовский С.М.** Набор и верстка в системе LATEX. М.: МЦМНО, 2006.
3. **Серебряков В.А. , Галочкин М.П.** Основы конструирования компиляторов. М.: Едиториал УРСС, 1999. С. 67—79.

О ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДИФФУЗИОННО-СКАЧКООБРАЗНЫХ СИСТЕМ

Разработанное программное обеспечение предназначено для моделирования и статистического анализа стохастических систем диффузионно-скачкообразного типа. Математическая модель таких систем описывается стохастическими дифференциальными уравнениями с пуассоновской компонентой, они решаются с помощью стохастического метода Эйлера. Базовым методом для моделирования пуассоновского потока разрывов траекторий (скачков) является метод «максимального сечения», кроме него для моделирования разрывов траекторий были использованы модифицированные алгоритмы, которые позволяют не хранить данные о предыдущих моментах скачков.

При разработке программного обеспечения использовались язык программирования C/C++, технология параллельного программирования OpenMP и среда Microsoft Visual Studio 2012 с применением пакета Intel Parallel Studio 2013, позволяющие эффективно задействовать вычислительную мощность современных многоядерных процессоров. В частности, для генерации псевдослучайных чисел была использована библиотека Intel Math Kernel Library. Далее планируется применить и другие технологии параллельного программирования [1].

Для оценки эффективности разработанного программного обеспечения проводилось тестирование на различных компьютерах с многоядерными процессорами Intel. Проведена апробация разработанного программного обеспечения на модельных и прикладных задачах, в частности на задаче исследования воздействий пуассоновских дельта-импульсов на простейшие электрические цепи, а именно нахождение вероятностных характеристик напряжения в RC-цепи [2, 3].

Литература

1. Клешнин В.Ю., Рыбаков К.А. О применении технологий параллельного программирования для задач матричной алгебры в приложении к спектральному методу анализа, синтеза и идентификации систем управления // Математика и математическое моделирование. 2016. № 1. С. 1–27.
2. Аверина Т.А., Рыбаков К.А. Новые методы анализа воздействия пуассоновских дельта-импульсов в задачах радиотехники // Журнал радиоэлектроники. 2013. № 1.
3. Аверина Т.А., Рыбаков К.А. Новые методы анализа воздействия эрланговских дельта-импульсов в задачах радиотехники // Журнал радиоэлектроники. 2014. № 11.

Секция 14

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

*Председатель секции — зав. каф. ПМ, д.т.н.,
профессор А.П. Еремеев*

Секретарь секции — к.т.н, доцент П.Р. Варшавский

Н.П. Алексеев, асп.; рук. И.Б. Фоминых, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА В ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ОНТОЛОГИИ СЕГМЕНТА ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

С момента начала развития исследований в области практического применения онтологий в 2000-х годах, было проведено множество попыток проектирования онтологий для конкретных предметных областей.

Проектирование онтологии в предметной области «Локальная вычислительная сеть» также является интересной и нетривиальной задачей. В работах [1] и [2] были спроектированы рабочие прототипы онтологий ЛВС.

Цель использования онтологического подхода в данной предметной области вытекает из преимуществ концептуализации данной предметной области в онтологическом виде. Среди множества свойств онтологий часто выделяют как основные построение на основе совместного понимания понятий предметной области и запись с использованием формальных языков[3]. Некоторые из этих языков, такие как OWL и его разновидности, предполагают возможность осуществления логического вывода в записанной с их помощью онтологии.

Практическую ценность имеет добавление в онтологию дополнительных правил вывода на языке SWRL. Эти правила, а также заложенные в OWL возможности позволяют выводить явно незадаанные в онтологии знания о предметной области.

Данный проект включает в себя спроектированную при помощи инструмента Protégé онтологию, дополнение в виде нескольких SWRL правил, а также программное приложение на языке Java, реализующее работу с онтологией и логический вывод в ней при помощи библиотеки OWLAPI с использованием резонера Pellet.

Литература

1. **Починский И.А.** Использование гиперграфов для представления онтологии сетевого оборудования // Сб. статей XI Междунар. научно-техн. конф. Пенза: ПДЗ, 2011. С. 74—78.
2. **Шарипбай А.А., Аскарова С.А., Муканова А.С.** Создание онтологической модели локальной компьютерной сети // OSTIS-215. Минск: БГУИР, 2015. С. 165—168.
3. **Тузовский А.Ф., Козлов С.В.** Построение модели знаний организации с использованием системы онтологий // Диалог 2006. М.: РГГУ, 2006. С. 508—512.

РЕАЛИЗАЦИЯ ЯЗЫКА МОДУЛЬНОГО ПОТОКОВОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ НА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ И КЛАСТЕРАХ

Современные средства параллельного программирования на распределенных компьютерных системах (РКС), такие как MPI, PVM, основаны на простой модели представления параллельной программы (ПП) в виде конечного множества взаимодействующих процессов [1]. Кажущаяся модельная простота MPI и PVM оборачивается для программиста проблемой при их применении, когда необходимо создавать сложные программы, нетривиально распараллеливаемые и состоящие из множества неоднотипных процессов программы. Высокоуровневый язык граф-схемного потокового параллельного программирования (ЯГСПП) [2] избавляет пользователя от недостатков, указанных выше для PVM и MPI.

Программа на ЯГСПП представляется в виде системы рекурсивных определений следующего вида:

$$X_i = C_i(M_i \cup VAR_i), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где M_i и X_i — множества константных и переменных модулей ПП, $VAR_i \subseteq VAR$, $VAR = \{X_i \mid i=1, 2, \dots, n\}$, $M_i \subseteq M$, где M — множество всех константных модулей определенных в системе (1); $M \cap VAR = \Omega$ — пустое множество.

Композиции $C_i(S)$ в языке имеют наглядную графическую нотацию, существенно упрощающую проектирование и модификацию параллельной программы с целью ее оптимизации. ЯГСПП одинаково хорошо приспособлен для проектирования как численных задач, так и задач управления сложными и распределенными системами. Условием инициализации процедуры модуля является поступление на входы модуля значений параметров процедуры, которые были вычислены процедурами других модулей, а также служебных параметров, которые позволяют однозначно идентифицировать динамически порождаемые вызовы библиотечных ПП и задавать их взаимодействие (интерфейс) с другими модулями и ПП. В настоящее время осуществляется реализация ЯГСПП на РКС с использованием средств PVM.

Литература

1. Хьюз К., Хьюз Т. Параллельное и распределенное программирование с использованием C++. М.: Издательский дом «Вильямс», 2004.
2. Кутепов В.П., Маланин В.Н., Панков Н.А. Граф-схемное потоковое параллельное программирование: язык, процессная модель, реализация на компьютерных системах. // Изв. РАН. ТиСУ. 2012. № 1. С. 87—102.

С.А. Буренков, асп.; рук. О.Ю. Шамаева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА ОБОБЩЕННЫХ МИНИМАЛЬНЫХ НЕВЯЗОК ДЛЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ГРАФИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССОРАМИ

Основной тенденцией развития современных высокопроизводительных вычислений является создание гибридных вычислительных систем (ВС), совмещающих в себе одновременно возможности крупнозернистой и мелкозернистой параллельной обработки [1]. Наибольшей производительности удастся достичь, совместив распределенные ВС, на каждом узле которых присутствует ускоритель или блок графических процессоров [2]. Для достижения максимального эффекта от использования описанных аппаратных средств необходимы программные средства, учитывающие особенности гибридной архитектуры. К сожалению, в настоящее время автоматизированные средства, настраивающие программы под архитектуру, отсутствуют. Поэтому актуальным является создание эффективных программных средств, способных задействовать все возможности гибридных ВС.

В рамках настоящей работы предложена и реализована параллельная модификация алгоритма обобщенных минимальных невязок (General Minimal Residual, GMRES) решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) с разреженной матрицей коэффициентов большой размерности на графических процессорах. Разработка модификации выполнялась на языке C++ с использованием технологии программирования графических процессоров CUDA [3].

Проведено исследование ускорения параллельного решения СЛАУ в зависимости от используемых вычислительных ресурсов – общего количества нитей, нитей в блоках – для различных размерностей систем. Выполнено сравнение с модификацией GMRES для вычислительных систем с распределенной памятью, представленной в работе [4].

Литература

1. **Суперкомпьютерные дни в России:** Труды Международной конференции. М.: Изд-во МГУ, 2016. 1128 с.
2. **Список** мощнейших суперкомпьютеров. [Электронный ресурс] 1993—2016. URL: <https://www.top500.org/> (дата обращения 14.10.2016).
3. **Параллельные** вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA: учеб. Пособие / А.В. Боресков, А.А. Харламов и др. М.: Изд-во МГУ, 2012. 336 с.
4. **Буренков С.А., Шамаева О.Ю.** Библиотека эффективных функций для решения класса аэродинамических задач на кластерных архитектурах // Актуальные вопросы развития инновационной деятельности в новом тысячелетии. 2015. № 3 (14). С. 8—11.

М.В. Водолазкая, студ.; рук. В.Н. Вагин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Сегодня алгоритмы машинного обучения используются во многих областях, где требуется обработка и построение прогнозов на основе большого количества данных. Эти алгоритмы, как правило, имеют некоторое количество входных параметров. Эффективность обученной модели сильно зависит от выбираемых для нее параметров. Однако исследований в области выбора параметров крайне мало и нет формализованного подхода к выбору набора параметров для получения оптимального решения.

В данной работе решается задача анализа и выбора оптимального набора параметров для алгоритма машинного обучения J48. Был описан метод поиска области оптимума в пространстве параметров выбранного алгоритма. За основу был взят метод Бокса—Уилсона [1], модифицированная версия которого описана в работе [2], потому как он позволяет наиболее полно описать предметную область.

Идея метода состоит в планировании и проведении эксперимента. Предлагаемые методы позволяют улучшить параметры оптимизации (качество обучения) и сокращают количество проводимых экспериментов, что позволяет найти компромисс между желаемой точностью и вычислительной сложностью. На основе полученных результатов строится модель, описывающая интересующий исследователя процесс, с помощью которой делаются последующие выводы о виде области оптимума.

В результате применения этого метода была построена модель, описывающая поведение параметра оптимизации в зависимости от значений факторов. Также было показано, что линейная модель не всегда подходит для описания подобных процессов. В ходе проведенных исследований было доказано, что можно добиться улучшения результата предсказания при помощи варьирования параметрами алгоритма машинного обучения по методу, описанному в данной работе.

Литература

1. **Box G.E.P., Wilson K.B.** On the experimental attainment of optimum conditions //Journal of the Royal Statistical Society. SeriesB (Methodological). 1951. Vol. 13. No 1. С. 1—45.
2. **Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1971.

*А.Б. Воробьёв, асп.; рук-ли И.Б. Фоминых, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»);
С.С. Курбатов, к.т.н. (НИЦЭВТ, Москва)*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Автоматизация решения геометрических задач — классическая проблема в области искусственного интеллекта. Ранние результаты по данной проблематике были получены еще в 60-х годах XX века [1], а современные описаны в [2,3].

Цель исследования — создание математического и программного обеспечения в рамках целостной системы, использующей результаты в области обработки естественного языка, разработки прикладных онтологий и современной графики.

Компоненты системы: лингвистический транслятор — для возможности ввода задачи на естественном языке; графический модуль — для наглядности решения задачи; онтология — работает как с транслятором, так и содержит структуру данных, концепты предметной области (геометрия); онтологический решатель — обеспечивает поиск решения.

Основной упор был сделан на разработку онтологии, решателя и интерфейса с графикой, в то время как транслятор и графический компонент использовались как уже имеющиеся.

Важную роль в работе решателя играют эвристики, реализованные как онтологические структуры. Такое представление позволяет значительно ускорить поиск решения, а также существенно упрощает редактирование.

Инструментальные средства реализации: СУБД Progress и графические макросы Microsoft Word (VBA). Организация интерфейсов онтологии с лингвистическим транслятором и графической подсистемой позволяет вести независимую отладку этих компонент (и их замену).

Тестирование разработанного математического и программного обеспечения на ряде задач школьного стандартного и олимпиадного уровней подтвердило его работоспособность.

Литература

1. **Гелентер Г.** Реализация машины, доказывающей геометрические теоремы. Вычислительные машины и мышление. М.: Мир, 1967.
2. **Давыденко И.Т.** Интеллектуальная справочная система по геометрии // OSTIS-2011. Минск: БГУИР, 2011.
3. **Курбатов С.С., Воробьёв А.Б.** Онтологический решатель геометрических задач по естественно-языковому описанию // XV Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием. Т. 1. Смоленск. С. 56—63.

Д.С. Демина, асп.; рук. Н.П. Сидорова, к.т.н., доц.
(МГОТУ, г. Королёв)

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННОГО РЯДА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ТЕНДЕНЦИИ И АВТОРЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

Целью исследования является прогнозирование цен на электроэнергию на оптовом энергорынке РФ. Для прогнозирования была построена модель прогнозирования временного ряда $Z(t)$ по выборке максимального подобия:

$$\widehat{Z}_{T+1}^P = \alpha_1 Z_{k_{\max}+M}^P + \alpha_0 I^P, \quad (1)$$

где Z_{T+1}^P — значение выборки прогнозных значений; $Z_{k_{\max}+M}^P$ — значение выборки базовой истории; I^P — единичный вектор; α_0 , α_1 — коэффициенты корреляции [1].

Другой подход к прогнозированию опирается на модель тенденции. В этом случае временной ряд описывается уравнением

$$\widehat{Z}(t) = Z_{\text{Тр}}(t) + E(t), \quad (2)$$

где $Z_{\text{Тр}}(t)$ — значения линейного тренда; $E(t)$ — ошибка приращения.

Далее происходит фильтрация значений временного ряда при помощи скользящего среднего [2]. Абсолютная ошибка приращения в этом случае

$$\xi = |E_{T-1} - E_T|. \quad (3)$$

В ходе исследования решается уравнение:

$$Z(T+1) = \overline{3E_{t-1} - \xi_{t-1} + Z_{\text{Тр}}(t-1) - Z(t-1) - Z(t)}, \quad (4)$$

где значение $Z(T+1)$ и является искомым.

Предложенные методики, основанные на прогнозировании цен на электроэнергию при помощи выборки максимального подобия и тренда, показали свою работоспособность.

Литература

1. Singh S. Pattern Modelling in Time-Series Forecasting // Cybernetics and Systems-An International Journal. 2000. Vol. 31. No. 1. P. 8.
2. Пастухова Ю.И., Демина Д.С., Левчук М.В. Моделирование колебаний динамики курса рубля в условиях высокой экономической нестабильности // Обозрение прикладной и промышленной математик. 2014. Т. 21. Вып. 4. С. 388.

А.В. Деревянко, асп.; рук. В.Н. Вагин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕМПОРАЛЬНОГО ПЕРЕСМАТРИВАЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ DeLP В ЗАДАЧАХ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

В настоящее время наблюдается повышенный интерес научного сообщества в области искусственного интеллекта к такому направлению исследований, как теория аргументации [1]. Это связано в первую очередь с тем, что аргументационные системы имеют множество применений, одним из них является область немонотонного рассуждения. Немонотонное рассуждение используется в задачах конструирования и планирования.

Исследования, проводимые в областях немонотонного рассуждения, аргументации и логического программирования привели к появлению мощных инструментов представления знаний и логического вывода. Большой вклад в теорию пересматриваемых логик на базе аргументации внесли Гарсиа и Симари [2]. Авторы представили DeLP (DefeasibleLogicProgramming) — формализм логического программирования на базе пересматриваемой аргументации, также ими был рассмотрен вопрос об определении отношений взаимодействия между аргументами. DeLP предоставляет возможность декларативного представления информации в виде пересматриваемых правил, для которых имеется способ применения пересматриваемого вывода.

В данной работе рассматривается децентрализованная система планирования, в которой участники обмениваются информацией в ходе диалога. Агенты взаимодействуют друг с другом, выдвигая новые аргументы и действия (шаги плана), а также обнаруживают аргументы, угрожающие реализации плана. Показано, что при этом сохраняется устойчивость и полнота найденного плана, как и при централизованном поиске плана с помощью DeLP. Результатом работы DeLP программы является множество непротиворечивых подтвержденных литералов. Таким образом, эти следствия описывают то, каким будет фактическое конечное состояние системы в соответствии с имеющейся информацией о ее начальном состоянии. В качестве примера применения подхода выполнена программная реализация системы распределенного планирования с кооперативными агентами.

Литература

1. **Вагин В.Н.** Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 712 с.
2. **Garcia A.J., Simari G.R.** Defeasible logic programming: An argumentative approach // *Theory and Practice of Logic Programming*. 2004. 4(1-2). С. 95—138.

Г.К. Джамалов, асп.; рук. И.Е. Куриленко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОФИЛЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ НАГРУЗОЧНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

К современным веб-приложениям выдвигаются строгие требования бесперебойной работы под большими нагрузками (большое количество одновременно работающих пользователей, большое количество запросов к веб-приложению и другие), несоблюдение которых приводит к отказу в работе программного обеспечения. Для проверки соответствия веб-приложений указанным требованиям необходимо проведение качественного нагрузочного тестирования.

В настоящее время существует большое количество программного обеспечения, предназначенного для проведения нагрузочного тестирования [1]. Такие инструменты позволяют настроить профиль нагрузочного тестирования: задать количество выполняемых операций (автоматизированных скриптов), задать количество параллельно работающих пользователей, длительность тестирования, установить задержку между скриптами и задержку между выполнением операций внутри скрипта. Но возникает вопрос: откуда взять эти значения для построения качественного нагрузочного тестирования?

Нагрузочное тестирование может считаться некачественным, когда подаваемая в ходе тестирования нагрузка виртуальными пользователями (скриптами) не соответствует нагрузке от реальных пользователей, т.е. виртуальные пользователи в профиле тестирования либо сгущаются, либо разреживаются, что вызывает чрезмерно сильные нагрузки или длительные простои соответственно.

Большинство инструментов для проведения нагрузочного тестирования требуют построения модели и ввода параметров профиля от пользователя, что является очень кропотливой работой, особенно в случае необходимости внесения изменений в профиль, что вызывает перерасчет всех параметров.

В рамках работы был разработан и реализован инструмент, позволяющий автоматизировать расчеты профиля нагрузочного тестирования и визуализировать его для исключения проблемы сгущения или разреживания виртуальных пользователей, что сильно экономит трудозатраты по расчету и перерасчету профиля нагрузочного тестирования для проведения качественного нагрузочного тестирования.

Литература

1. Джамалов Г.К. Промышленные подходы к организации нагрузочного тестирования. SQADays 15, 2014. 50 с.

МОБИЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ

Автоматический контроль и управление доступом — важная задача, с решением которой можно столкнуться как в общественном транспорте, так и на крупных предприятиях. Однако большинство современных систем контроля и управления доступом (СКУД) [1] не способны эффективно выполнять свои функции на больших территориях и территориях со слабо развитой инфраструктурой. Основной недостаток подобных систем заключается в жесткой привязке к стационарным пунктам контроля.

Одним из способов оптимизации таких СКУД является применение технологии мобильных считывателей. Это позволяет снизить необходимое количество стационарных пунктов контроля и ускорить рабочие процессы предприятия.

В рамках решения этой задачи можно выделить несколько подзадач, оптимизации решения которых можно добиться предложенным способом:

- 1) доступ пассажиров АТС на автомобильном пункте контроля;
- 2) контроль сотрудников на территории уполномоченным лицом;
- 3) идентификация сотрудников в случае форс-мажорных событий;
- 4) регистрация нарушений внутреннего распорядка;
- 5) контроль охранников на большой территории.

В докладе приведены выявленные факторы среды применения мобильных считывателей, определяющие выбор подходящих считывателей и режимы их функционирования, например наличие надежного канала беспроводной связи, климатические показатели и др. Проведен анализ состояния современной аппаратуры для реализации мобильных считывателей: автономные считыватели с аккумулятором и запоминающим устройством, а также смартфоны и планшетные компьютеры, оборудованные различными RFID-модулями.

Сформулированы требования и предложены способы реализации СКУД на основе мобильных считывателей COPERNIC в рамках программно-аппаратного комплекса LugiX [2], позволяющие решить поставленные выше задачи не только в СКУД, но и в интегрированных системах безопасности.

Литература

1. **Покупатели** оценили сетевые СКУД. Надежность, универсальность, прибыльность // Системы безопасности. 2014. №4 (118). С. 106—108.
2. **Повышение** квалификации специалистов в области интегрированных систем безопасности / П.Л. Чернов, А.А. Гинце, А.А. Ефанов, И.А. Егоров // Информатизация инженерного образования: Тр. Международной научно-практической конф. М.: Издательский дом МЭИ, 2016. С. 253—256.

А.А. Ефанов, студ.; рук. В.Н. Фальк, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РЕАЛИЗАЦИЯ ГРАФИЧЕСКОГО РЕДАКТОРА ДЛЯ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Активное развитие многопроцессорных и многомашинных систем, в том числе многоядерных и кластерных вычислительных систем, требует создания соответствующего алгоритмического аппарата и программных средств для построения, верификации и тестирования параллельных программ.

Сети Петри являются перспективным инструментом описания и исследования мультипрограммных, асинхронных, распределенных, параллельных, недетерминированных и/или стохастических систем обработки информации. В качестве графического средства сети Петри могут использоваться для наглядного представления моделируемой системы. Вводимое в этих сетях понятие фишек позволяет моделировать динамику функционирования систем и параллельные процессы. В качестве математического средства аналитическое представление сети Петри позволяет составлять уравнения состояния, алгебраические уравнения и другие математические соотношения, описывающие динамику систем. Предложенные Фальком В.Н. динамические вычислительные сети (ДВС) — обобщение формализма сетей Петри, характеризующееся:

- изменением структуры во времени;
- осуществлением переходов в реальном времени;
- «вычислительной нагрузкой» переходов в сети.

В докладе представлено разработанное программное средство для представления моделей на основе ДВС. Оно позволяет создавать и управлять структурой проекта модели, а также визуализировать и редактировать составные части проекта — сети-объекты.

На основе реализованной модели данных предполагается осуществлять симуляцию процесса вычисления в ДВС, что представляется необходимым как для моделирования процессов в реальных вычислительных системах, так и при разработке их программного обеспечения.

Разработанный программный продукт реализован средствами языка C++ с использованием кроссплатформенной библиотеки Qt в среде разработки QtCreator [1].

Литература

1. Бланшет Ж., Саммерфилд М. Qt4: программирование GUI на C++. М.: КУДИЦ-ПРЕСС, 2008.

МЕТОДЫ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ПРИОБРЕТЕНИЯ ЗНАНИЙ ИЗ ГИПЕРТЕКСТОВЫХ ИСТОЧНИКОВ

На сегодняшний день при рассмотрении вопросов, связанных с инженерией знаний и разработкой систем искусственного интеллекта, актуальной является проблема приобретения знаний из различных источников и, в частности, из гипертекстовых источников (например, Интернет-ресурсов, wiki-статей и др.) [1, 2]. Разработанная программная подсистема способна выполнять анализ как HTML-кода wiki-страницы, так и самого содержимого статьи, формировать подборки wiki-статей и определять сходство между анализируемыми статьями с использованием методов на основе аналогий (ABR – Analogy-Based Reasoning) [3].

Для формирования подборки статей по выбранной тематике пользователь вводит URL интересующей его статьи, она индексируется в системе и определяется как главная статья. Далее подсистема выбирает статью из имеющегося стека переходов, сохраняет информацию и анализирует ее. Во время индексации wiki-статьи генерируется следующая метаинформация: содержание статьи, ключевые слова, ссылки на схожие статьи, список использованных источников. Ключевые слова выделяются из содержания и основного текста по трем характеристикам: частота встречаемости в тексте, средний вес слова и его «авторский» вес. Полученная метаинформация сравнивается с имеющейся в сборнике и принимается решение о добавлении статьи как близкой по тематике. В случае добавления проанализированной статьи подсистема заносит в стек переходов ссылки на все схожие статьи.

В результате работы приложения в памяти сохраняется целый набор статей по одной тематике, соответствующей указанному пользователем понятию. В системе для формирования подборки статей по указанной пользователем тематике используются статистические методы анализа гипертекста и синтаксический анализ, а также методы на основе аналогий.

Литература

1. **Башмаков А.И., Башмаков И.А.** Интеллектуальные информационные технологии. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005.
2. **Журавлёв Ю.И., Рязанов В.В., Сенько О.В.** Распознавание. Математические методы. Программная система. Практические применения. М.: Фазис, 2006. 176 с.
3. **Ian H. Witten, Eibe Frank and Mark A. Hall.** Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques. 3rd Edition. Morgan Kaufmann, 2011. P. 664.

А.А. Кожухов, асп.; рук. А.П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИНТЕГРАЦИЯ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ТЕМПОРАЛЬНЫХ РАЗЛИЧИЙ В ПОДСИСТЕМУ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

При разработке перспективных интеллектуальных систем (ИС) семиотического типа, представителями которых являются ИСППРВ [1], важное внимание должно быть уделено средствам прогнозирования развития ситуации на объекте, последствиям принимаемых решений, экспертным методам и средствам обучения. Одними из наиболее перспективных в плане использования в ИСППРВ являются методы обучения с подкреплением (reinforcement learning, RL) на основе темпоральных различий (temporal-difference, TD) [2], где процесс обучения основывается непосредственно на получаемом опыте без предварительных знаний о модели поведения окружающей среды.

Цель работы — анализ возможности применимости и интеграции методов RL-обучения и, в частности, методов на основе темпоральных различий, а также сравнение результатов прогнозирования при использовании различных методов и их комбинаций. Были реализованы соответствующие алгоритмы TD-методов и предложена архитектура подсистемы прогнозирования, включающая модуль прогнозирования на основе статистических методов (экстраполяция по скользящей средней, экспоненциальное сглаживание и байесовский подход), прогнозирования на основе экспертных методов (методы ранжирования и непосредственной оценки) и методов RL-обучения на основе темпоральных различий (TD(0), TD(λ), SARSA, Q-обучение) [3]. В настоящее время проводится оценка эффективности выбранных методов и внедрение спроектированного модуля на основе методов RL-обучения в разрабатываемую интегрированную среду с целью нахождения оптимальных методов, применимых к ИСППРВ семиотического типа и задачам прогнозирования.

Литература

1. **Вагин В.Н., Еремеев А.П.** Научная школа искусственного интеллекта в Московском энергетическом институте на базе кафедры прикладной математики: становление и результаты // Вестник МЭИ. 2015. № 2. С. 29—37.
2. **Саттон Р.С., Барто Э.Г.** Обучение с подкреплением: пер. с англ. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011.
3. **Еремеев А.П., Кожухов А.А.** Анализ и разработка методов обучения с подкреплением на основе темпоральных различий для интеллектуальных систем реального времени // КИИ-2016. Смоленск: Универсум, 2016. С. 323—330.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВВОДА ДОКУМЕНТОВ В ПРОГРАММНО-АППАРАТНОМ КОМПЛЕКСЕ LYRIX

Идентификация пользователей в интегрированных системах безопасности (ИСБ) – задача первостепенной важности. От того, какую информацию и насколько точно введет оператор, напрямую зависит, какие возможности будет иметь конкретный пользователь. Автоматизация этого процесса позволит избежать возможных ошибок при работе ИСБ, связанных с неверной идентификацией пользователей.

Имеющиеся в программно-аппаратном комплексе (ПАК) LyriX [1] средства для распознавания текста и изображений в документах с помощью Cognitive [2] не полностью отвечают предъявленным требованиям, так как имеется не только малое количество шаблонов распознаваемых документов, но и невысокая надежность и качество самого распознавания. В связи с этим в работе ставилась задача поддержки в ПАК LyriX других средств, не имеющих подобных недостатков. В результате исследования для high-end-систем выбор был сделан в пользу считывателя документов «Регула» [3] [несравнимо большее количество доступных к распознаванию шаблонов документов (не только российских, но и иностранных), измеряемое тысячами, а также специальные функции проверки подлинности документов], а для low-end-систем — АБВУУ PassportReader [4] [относительная дешевизна и простота в использовании (не требуется специальный сканер документов)].

В докладе предложены способы поддержки в ПАК LyriX считывателя документов «Регула» [с использованием JNR (Java Native Runtime)] и АБВУУ PassportReader [с использованием web-сервиса с REST архитектурой для проведения сканирования (GET) с заранее переданными параметрами (POST) и формирования результатов сканирования в xml-строку].

Литература

1. **Шаповалов А.В.** LyriX – управление ИСБ многофилиальных объектов // Системы безопасности. 2014/ № 2(116). С. 104—105.
2. **Cognitive** [Электронный ресурс], URL: <http://www.cognitive.ru/realized-projects/activity/input-and-processing-of-documents/> (дата обращения: 01.10.2016).
3. **Считыватель** документов «Регула». [Электронный ресурс]. URL: https://regulaforensics.com/ru/products/machine_verification/ (дата обращения: 10.10.2016).
4. **АБВУУ** PassportReader SDK. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.abbyy.com/ru-ru/passportreader-sdk/> (дата обращения: 13.10.2016).

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК ОЦЕНКИ ИНФОРМАЦИОННЫХ РИСКОВ ДЛЯ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

За последние несколько лет облачные вычисления обрели большую популярность, с которой возникает и новый класс рисков, характерных для среды облака и связанных с угрозами нарушения информационной безопасности (ИБ).

Говоря о методиках оценки рисков ИБ, стоит учесть, что одни рано или поздно устаревают, а другие же — создаются и совершенствуются. Нельзя точно сказать, какая из существующих методик применима к облачной среде. Целью работы является проведение анализа возможности применения к облачным вычислениям таких методик по оценке рисков ИБ, как OCTAVE, CRAMM, RiskWatch.

В ходе исследования стало ясно, что организации, имеющие частное облако, могут использовать данные методики в целях оценки риска ИБ при условии внесения ряда поправок в них и при условии, что они контролируют все свое оборудование и данные. В противном случае использование хотя бы одного из стандартных сценариев данных методик становится невозможным, так как отсутствует возможность проведения полного учета всех инфраструктурных уязвимостей. В случае с публичными и гибридными облаками применение данных методик и вовсе невозможно по той же самой причине [1, 2].

Также в ходе проведенного анализа было выявлено, что в существующих методиках не учитывается специфика модели взаимодействия, присущая облачным вычислениям, — возможность удаленного доступа к предоставляемым сервисам. Таким образом, ни одна из методик не подходит полностью для случая облачных вычислений. В ходе дальнейшей работы они могут послужить базисом для разработки новой методики, способной удовлетворить возникшую потребность в оценке рисков при применении облачных сервисов.

Литература

1. **Атапина Н.В.** Сравнительный анализ методов оценки рисков и подходов к организации риск-менеджмента // Молодой ученый. 2013. № 5. С. 235—243.
2. **Нестеркина Е.** Методы реализации стандартной стратегии рисков облачных вычислений (cloud computing) // ЦОД, датацентры, облачные вычисления, Saas, 2013 [Электронный ресурс].

И.Е. Никонов, асп.; рук. И.Е. Куриленко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ВЫВОДА ДЛЯ ТЕМПОРАЛЬНЫХ ЛОГИК ВЕТВЯЩЕГОСЯ ВРЕМЕНИ

На сегодняшний день актуальной является проблема получения средства доказательства того, что программы работают именно так, как предполагают техническое задание и технологический процесс. Одним из методов проверки корректности работы программ является метод верификации — формальной проверки выполнимости логической формулы на некоторой структуре [1].

Большинство кибернетических систем, в том числе и интеллектуальных, являются динамическими, т.е. способными развиваться и изменять свое состояние во времени [2]. Одним из средств спецификации такого поведения являются темпоральные логики (линейного и ветвящегося времени) [3]. В данной работе используется логика ветвящегося времени, так как она в отличие от логики линейного времени более адекватно описывает топологию времени, а именно учитывает множественность будущего и прошлого.

Главным плюсом верификации перед привычным тестированием является то, что она проводится на этапе проектирования системы, что экономит затраты на исправление ошибок. В работе [4] был приведен алгоритм верификации ModelChecking для темпоральных логик линейного (LTL) и ветвящегося (CTL) времени.

Данный проект представляет собой специализированный алгоритм верификации, разработанный на основе алгоритма ModelChecking и технологии нитевого программирования, позволяющий эффективно решить задачу формальной верификации на многоядерных системах, а также программное приложение на языке C#, представляющее собой прототип инструмента для верификации с применением улучшенного алгоритма ModelChecking.

Литература

1. **Кулямин В.В.** Методы верификации программного обеспечения // Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы», 2008. 117 с.
2. **Еремеев А.П.** Темпоральные модели в интеллектуальных системах // Поспеловские чтения. 2009.
3. **Pnueli.** The temporal logic of program // Proc. of the 18th Anny. Symp. On Foundation of Computer Science. 1977.
4. **Карпов Ю.Г.** Model Checking. СПб.: БХВ – Петербург, 2010.

А.С. Тутов, студ.; рук. А.П. Еремеев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА БАЗОВЫХ МОДУЛЕЙ ПРОТОТИПА ТЕМПОРАЛЬНОЙ БАЗЫ ДАННЫХ

Темпоральные базы данных (ТБД) — это базы данных, хранящие темпоральные данные. *Темпоральные данные* — это произвольные данные, которые явно или неявно связаны с определенными датами или промежутками времени [1].

Наличие средств представления темпоральных зависимостей в современных БД особенно важно, если они ориентированы на использование в динамических системах реального времени [например, интеллектуальные системы поддержки принятия решений реального времени (ИСППР РВ)], характеризующихся частым обновлением информации [2].

Для того чтобы наблюдать всю картину изменений объекта, можно расставить временные метки $\langle Tstart, Tend \rangle$ для каждого атрибута и сгруппировать данные в специальных XML документах (H-tables) по временным интервалам их действия (validtime).

Запросы в ТБД делятся на два типа: касающиеся текущего состояния объектов и касающиеся архивных данных. Имеет смысл разделить ТБД на два сектора: сектор управления обычными (нетемпоральными) запросами, построенный средствами SQL, как обычная реляционная база, и сектор для темпоральных запросов, содержащий H-tables. Таким образом, архивные данные не сильно влияют на более простые запросы.

Обновление текущих данных приводит к добавлению новых временных интервалов соответствующего значения атрибута в темпоральной части.

В ходе выполнения работы были рассмотрены основные концепции представления времени, временные примитивы: интервалы и моменты (точки). А также темпоральная интервальная логика Аллена.

Были разработаны средства прототипа ТДБ, реализующего интерфейс и позволяющего совершать как обычные запросы в БД, так и темпоральные.

Работа проводилась в рамках НИР кафедры прикладной математики по разработке математического и программного обеспечения ИСППР РВ для управления и мониторинга сложных технических объектов.

Литература

1. Костенко Б.Б., Кузнецов С.Д. История и актуальные проблемы темпоральных баз данных // [Электронный ресурс]: CITforum. 2007. URL: http://citforum.ru/database/articles/temporal/#_ftn3 (дата обращения: 01.10.2016).

2. Еремеев А.П., Еремеев А.А., Пантелеев А.А. Темпоральные базы данных и их применение в интеллектуальных системах: Интеллектуальные системы. Коллективная монография. Вып. 4 / под. ред. В.М. Курейчика. М.: Физматлит, 2010. С. 253—276.

Д.И. Чаплыгин, асп.; рук. В.Н. Фальк, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБЪЕКТНАЯ МОДЕЛЬ FALGOL-ПРОЦЕССОРА

Одной из причин, усложняющих разработку программного обеспечения, является разница между представлением объектов языков высокого уровня и их отображением в архитектуре реальных машин, т.е. разницы между представлением простейших и созданных в таких языках сложных программных объектов для классической фон-неймановской архитектуры нет. В результате возник так называемый семантический разрыв (thesemantic gap), вследствие чего значительно усложняются процессы компиляции и трансляции, отладки и верификации программ.

В рассматриваемой архитектуре Falgol-процессора, разрабатываемой на основе, не имеющей аналогов формальной модели [1], для решения этой проблемы в отличие от [2] используется обобщенное тегированное представление всех программных объектов внутреннего языка, потребовавшее совершенно новых структурных и функциональных решений. Для их уточнения, оценки и оптимизации разрабатывается программная объектная модель как самого Falgol-процессора, в том числе его компонентов и управления их взаимодействием при реализации концепции смешанных вычислений, так и некоторых дополнительных аппаратно-реализованных компонентов системной поддержки.

Личный вклад:

Фальк В.Н. — теоретическая модель, общая архитектура Falgol-процессора, представление программных объектов в Falgol-процессоре;

Чаплыгин Д.И. — эскизная реализация программной модели Falgol-процессора (программные модели его основных компонентов и их взаимодействия; программная модель аппаратного сборщика мусора в Falgol-процессоре [3]).

Литература

1. **Фальк В.Н.** Формальный алгоритмический язык Falgol — тридцать лет спустя // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2009. № 1. С. 82—88.
2. **Чернов С.А.** Исследование и реализация базовой вычислительной машины с внутренним языком высокого уровня: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М.: МЭИ, 2003.
3. **Фальк В.Н. Чаплыгин Д.И.** Программная модель сборщика мусора для Фалгол-процессора смешанных вычислений // Информационные системы и технологии: материалы международной научно-технической интернет-конференции (ИСИТ-2013). ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», 2013. URL: <http://irsit.ru/files/article/361.pdf>.

РЕАЛИЗАЦИЯ ЯЗЫКА ЗАПРОСОВ ДЛЯ ПОИСКА ОБЪЕКТОВ В ТИПИЗИРОВАННЫХ ФАЙЛАХ

При создании систем информационного поиска в текстовых файлах возникает проблема удобного ввода поисковых параметров для отбора объектов. Одним из подходов к ее решению является создание специализированного языка запросов с использованием конструкции естественного языка. Поэтому целью работы стала разработка и реализация простейшего языка запросов, позволяющего осуществлять поиск записей в типизированных файлах.

Для достижения поставленной цели были выделены и решены следующие подзадачи:

- 1) разработка структуры для хранения параметров поиска;
- 2) разработка языка запросов, состоящего из лексического сканера и синтаксического анализатора;
- 3) реализация разработанного языка в форме программы на языке Pascal;
- 4) тестирование программы.

При проектировании структуры для хранения параметров запроса учитывались следующие особенности: возможность указания поисковых значений по параметрам, участвующим в поиске, возможность включения/исключения какого-либо параметра из поиска и т.д. При разработке синтаксического анализатора был выбран метод нисходящего синтаксического анализа, лежащий в основе главных концепций компиляторов [1, 2]. Данный метод дает преимущество при разборе введенного запроса перед остальными, так как он позволяет гибко реализовывать разбор составных выражений.

Консольное приложение было реализовано на языке Pascal. Разработка программы осуществлялась в среде PascalABC.NET. Программа предоставляет возможности конвертирования текстового файла в типизированный, фильтрации по заполненной структуре поиска и другие. Тестирование программы проводилось путем вывода содержимого файла, ввода некоторого запроса по предлагаемому образцу и печати результатов поиска. Поэтому существует возможность непосредственно убедиться в корректном выполнении поиска.

Литература

1. **Компиляторы:** принципы, технологии и инструменты пер. с англ. / А.В. Ахо, М.С. Лам, Р. Сети, Дж.Д.Ульман. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. С. 97—167.
2. **Хантер Р.** Основные концепции компиляторов: пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. С. 57—81.

Секция 15

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И САПР

Председатель секции — зав. каф. ВТ, д.т.н.,
профессор В.В. Топорков

Секретарь секции — к.т.н., доцент И.Е. Лешихина

Н.В. Беленков, асп.; рук. В.А. Курдин, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕТОДА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ РАДИООТПЕЧАТКОВ НА ЕГО ТОЧНОСТЬ

Потребность в навигации внутри помещений с каждым годом растет в связи с повсеместным внедрением информационных технологий и низкой эффективностью спутниковых систем в условиях закрытого неба. В связи с этим в последнее время активно развивается ряд методов для так называемого *indoor-позиционирования*. Для их сравнения между собой обычно используются два критерия: точность и вычислительная сложность.

Первым этапом метода позиционирования на основе радиотпечатков является составление *радиокарты* — набора векторов уровней сигналов от различных радиисточников в заданных точках помещения. На втором этапе происходит измерение уровней радиосигналов в точке, где находится абонент, далее выполняется поиск в радиокарте векторов, наиболее похожих на вектор измерений. Положение абонента определяется как среднее арифметическое связанных с этими векторами координат.

В данном исследовании для поиска похожих векторов используется *метод k ближайших соседей*. Этот алгоритм в большинстве случаев предполагает в качестве меры сходства вычисление нормы Гёльдера:

$$\|x\|_p = (\sum |x_i|^p)^{1/p}, \text{ где } p \geq 1.$$

Существуют два частных случая для этой формулы: Манхэттенское расстояние ($p = 1$) и Евклидово расстояние ($p = 2$) [1]. Исследуется влияние использования каждого из этих случаев на точность и скорость получения результата. Также проводится исследование влияния различных значений параметра k на точность и вычислительные затраты. В качестве тестовой

выборки используется база радиоотпечатков Compass, составленная студентами университета Мангейма в 2008 году [2].

По результатам исследования установлено, что наибольшая точность в среднем достигается при параметрах $p = 1$ и $k = 2$. Также установлено, что использование Евклидова расстояния в большинстве случаев не дает прироста в точности, несмотря на большую вычислительную сложность. Полученные результаты позволяют ускорить работу программных и аппаратных реализаций метода без потери точности.

Литература

1. Курдин В.А., Шарапов А.П. Методы позиционирования абонентов внутри помещений, основанные на радиоотпечатках (location fingerprinting methods): Тр. XX МНТК «Информационные средства и технологии». 2012 г., Москва.

2. **CRAWDAD** dataset manheim/compass / T. King, S. Kopf, T. Haenselmann et al. (v. 2008/04/11).

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБОБЩЕНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ С НЕОПРЕДЕЛЕННЫМИ АТРИБУТАМИ

Задача обобщения информации является одной из основ для построения систем обучения и принятия решений. При помощи методов обобщения возможно получение знаний, объясняющих имеющиеся факты, и способных классифицировать или предсказывать новые. Области применения алгоритмов обобщения являются медицина, банковская деятельность, прогнозирование и многое другое. Но сложность состоит в том, что в обучающих выборках по данным предметным областям могут быть атрибуты, заданные интервалом допустимых значений. Классические алгоритмы обобщения не позволяют работать с этим классом атрибутов, поэтому предлагается исследовать методы обработки нечетко заданных данных [1].

Одним из способов справиться с неопределенностью в атрибутах является метод усреднения. Суть данного метода состоит в замене всех интервальных данных на их усредненные значения. Так, например, если признак «количество рейсов в год» имеет значение от 10 до 14, после применения метода усреднения будет получено значение 12. Данный метод редуцирует имеющуюся задачу обратно к задаче с определенными атрибутами и делает возможным применение классических алгоритмов построения деревьев решений, таких как ID3 и C4.5 [2]. Однако особенностью данного метода является потеря точности за счет того, что часть информации о примерах в обучающей выборке отбрасывается.

Второй способ — это метод нахождения лучшего разбиения. Ключевым условием данного метода является выбор решающего атрибута и разделяющего условия. После того как они получены для текущего узла, исходное множество разбивается на два подмножества, и данная операция повторяется на каждом шаге для каждого узла дерева [3]. По сравнению с методом усреднения такой подход требует большего времени на выполнение, но при этом обладает высокой точностью. Предлагаются результаты программного моделирования двух методов.

Литература

1. **Достоверный** и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / В.Н. Вагин, Е.Ю. Головина, А.А. Загорянская, М.В. Фомина. М.: Физматлит, 2008.
2. **Quinlan J.R.** Generating production rules from Decision Trees // Proc. of IJCAI 87. Milan, 1987.
3. **Decision** Trees for Uncertain Data / S. Tsang, B. Kao, Kevin Y. Yip et al. // In IEEE International Conference on Data Engineering 2009. (ICDE'09). P. 441—444. 2009.

А.А. Титков, асп.; рук. М.А. Пирогова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ИХ ПОСТРОЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

Актуальная информация о структуре грунтов на строительной площадке позволяет получить сведения об объемах земляных работ и провести оптимизацию проекта по критерию стоимости и обслуживания. Для этого структура залегания грунтов представляется в виде инженерно-геологического разреза (ИГР) – графического отображения взаимного расположения земляных пород (грунтов) в вертикальной плоскости, образованной направлением трубопровода на плане. Исходными данными для построения ИГР являются результаты бурения скважин. По ним определяются границы между породами. Общепринятого алгоритма построения ИГР нет. На практике опираются на рекомендации экспертов – эвристики [1][2], а также осуществляемый перед началом проектирования поиск аналогов и типовых решений.

ГК «Неолант» предлагает систему для комплексного проектирования трубопроводов – СПЛИТ, которая, в частности, автоматизирует процесс проектирования линейно протяженной части трубопроводов при новом строительстве, реконструкции и капитальном ремонте.

В состав системы входит модуль «Геология». Его функции позволяют вводить и обрабатывать результаты бурения скважин, формировать и редактировать ИГР. Модуль имеет интерфейсы для взаимодействия с целью проведения расчетов как с внутренними модулями СПЛИТ, так и со сторонним ПО.

Для создания ядра модуля «Геология» были разработаны модели геологических и математических структур. Для построения ИГР в автоматическом режиме определены и формализованы в алгоритмы эвристики, полученные в результате анализа мнений экспертов. Для редактирования ИГР в интерактивном режиме введены средства коррекции ошибок ввода данных. Модели и алгоритмы реализованы в виде набора программных библиотек.

В будущем для модуля «Геология» будет создано трехмерное представление структуры грунтов с использованием результатов, полученных в ходе выполнения данной работы.

Литература

1. **Ананьев В. П.** Инженерная геология: учеб. для строит. спец. вузов. — 3-е изд., перераб. и испр. М.: Высшая школа, 2005. 575 с.
2. **Платов Н. А.** Основы инженерной геологии. М.: ИНФРА-М, 2003. 172 с.

Секция 16

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ, СЕТИ И СИСТЕМЫ

*Председатель секции — д.т.н., профессор Л.И. Абросимов
Секретарь секции — аспирант М.А. Тагирова*

*Ш.Ш. Арутюнян, асп.; рук. Л.И. Абросимов, д.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ»)*

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЕВЫМИ РЕСУРСАМИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ГРИД-ТЕХНОЛОГИЙ

В современном обществе существует необходимость в повышении качества и скорости обработки в первую очередь «больших данных» [1]. В связи с этим возрастает значение ГРИД-систем как средства решения этой проблемы. Особенностью такой системы является географически распределенные гетерогенные компьютеры, соединенные с помощью сети. Одной из основных задач любой ГРИД-системы является анализ полученных данных, которые, в силу ряда причин, не могут быть оценены на одном узле. Для решения данной задачи и ускорения времени обработки входных данных необходимо на первом этапе разослать эти данные на распределенные узлы системы, а на втором собрать уже обработанные данные из распределенных узлов и агрегировать их в общее глобальное представление. Однако такая задача является трудно решаемой из-за большого объема входных данных и их динамичности. Поэтому главной задачей является исследование зависимости затрат ресурсов вычислительного узла от параметров входных данных и создание методики оценки исследования зависимости.

Основные затраты при обработке запросов на узлах ГРИД-систем в соответствии с моделью ЭМВОС происходят не только за счет прикладной программы, но и на транспортном и сетевом уровнях. Протоколы сетевого и транспортного уровня реализованы в виде программных функций ядра ОС [2]. Учитывая вышесказанное, с помощью программных и аппаратных средств ОС можно решить поставленную задачу, выполняя последовательно следующие этапы:

- определение функций участвующих в обработке заявок;
- определение адресов вызовов выделенных функций;
- рассмотрение сценариев проведения экспериментальных исследований;
- определения временных параметров функций по результатам экспериментальных измерений;

Литература

1. **Tsvetkov V.Ya, Lobanov A.A.** Big Data as Information Barrier // European Researcher. 2014. Vol. (78) № 7—1. P. 1237—1242.
2. **Daniel P. Bovet, Marco Cesati.** Understanding the Linux Kernel. O'Reilly Media, 2000. 704 с.

Л.С. Архипов, студ.; рук. В.В. Косулин, к.т.н., доц. (КГЭУ, г. Казань)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПЛАТЫ ПРОЕЗДА В ОБЩЕСТВЕННОМ ТРАНСПОРТЕ

Большая часть населения России пользуется услугами общественного транспорта. Поэтому актуальным становится вопрос совершенствования оплаты проезда. Во многих городах страны сегодня внедряется система безналичной оплаты проезда. В работе предлагается аппаратно-программный комплекс автоматизации оплаты проезда в общественном транспорте, который позволит упростить оплату за проезд. Общественный транспорт, оборудованный данным комплексом, сможет в автоматическом режиме снимать деньги за проезд, а также вести мониторинг загруженности транспортного средства для статистического анализа. При использовании данного комплекса происходит полный отказ от кондукторов, и вместо них контроль будут осуществлять контроллеры. «Забывчивые» пассажиры могут приобрести одноразовые билеты в киосках города [1].

Предлагаемый программно-аппаратный комплекс имеет следующие преимущества по сравнению с существующей системой в г. Казани:

1) оплата по безналичному расчету делает проезд в транспорте в «час пик», когда транспорт переполнен, более комфортным (не надо доставать денежные средства и искать, куда положить сдачу);

2) отсутствие материальных (бумажных) проездных документов приведет к тому, что город станет чище;

3) ведение учета пассажиропотока в каждой единице общественного транспорта позволит собрать статистические данные: на каком транспорте, в какое время и сколько пассажиров оплатило проезд, что даст возможность динамично оптимизировать количество транспортных средств на маршрутах общественного транспорта.

Однако введение предлагаемой системы оплаты приведет к тому, что безбилетных пассажиров будет сложнее поймать [2], так как кондуктора в автобусе не будет, а контроллеры будут рассеяны по маршруту, что можно решить, повысив мобильность групп контролеров. При регулярной проверке оплаты проезда пассажиры постепенно привыкнут к тому, что оплачивать проезд необходимо вовремя.

Литература

1. **Электронная** оплата проезда на общественном транспорте. [Электронный ресурс]. URL: <http://t-project.ru/transport/electronic-payments/>

2. **Провести** реформу системы контроля оплаты проезда в городском общественном транспорте (г. Санкт-Петербург). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.roi.ru/11739>

*А.О. Афанасьева, студ.; рук-ли С.А. Петров, к.т.н., доц.;
М.Р. Овсянникова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИС «КАДРЫ» — СИСТЕМА УЧЕТА СОТРУДНИКОВ МЭИ

НИУ «МЭИ», как и любой другой современный вуз, сталкивается с необходимостью ведения кадрового учета своих сотрудников. Выполнить эту работу без современных средств автоматизации практически невозможно. Система кадрового учета МЭИ — ИС «Кадры», внедрение которой началось в октябре 2015 года, имеет ряд ключевых преимуществ перед предыдущей системой, разработанной еще в середине 90-х годов [1, 2]: расширенная модель предметной области, позволяет хранить информацию о сотрудниках в более детальном виде; использование общероссийских классификаторов (ФИАС, ОКСО, ОКИН, ОКПДТР) обеспечивает универсальность данных, хранящихся в системе, и упрощает процесс периодической отчетности перед ведомствами; новая подсистема приказов упрощает работу пользователей за счет автоматической генерации текста и внесения изменений в карточку сотрудника при утверждении приказа; гибкость приказов и их адаптация к изменениям предметной области обеспечивается за счет шаблонов, настройка которых не требует специального технического образования; обновленный и расширенный состав отчетных форм и справок автоматизирует задачи пользователей, ранее выполнявшиеся вручную; веб-интерфейс позволяет уменьшить аппаратные и программные требования к рабочим местам конечных пользователей и облегчает процедуру обновления программного продукта.

По результатам первого года использования, можно сказать, что новая система была позитивно воспринята пользователями. Сотрудники ответственно отнеслись к внедрению новой системы и способствовали интеграции со своим рабочим процессом, указывая на возможные доработки. Пожелания пользователей были обработаны и учтены в ходе развития функционала ИС «Кадры».

Литература

1. **Петров С.А., Овсянникова М.Р., Фёдоров А.Б.** Кадровый комплекс корпоративной информационной среды НИУ «МЭИ». Новые информационные технологии в образовании (НИТО): материалы 9 МНПК, 2016 г. // ФГАОУ ВО «Рос.гос. проф.-пед. ун-т». С. 177—181.
2. **Автоматизация** кадрового учета как составная часть автоматизации управления вузом: Труды МНПК «Информатизация инженерного образования» ИНФО-РИНО-2016 / С.А. Петров, И.М. Крепков, А.Б. Фёдоров, М.Р. Овсянникова. М.: Издательский дом МЭИ, 2016. С. 186—189.

О.В. Бризицкая, студ.; рук. М.В. Раскатова, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЦИФРОВЫЕ ВОДЯНЫЕ ЗНАКИ ДЛЯ АУТЕНТИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Одной из интереснейших и важных исследований на сегодняшний день является исследование цифровых «водяных знаков», в частности, применяемое для аутентификации изображений. Цифровой водяной знак (ЦВЗ) — технология, созданная для защиты авторских прав мультимедийных файлов [1].

Методы, предназначенные для сокрытия данных в графических изображениях можно разделить на форматные и неформатные [2].

Форматные методы сокрытия (форматные стеганографические системы) — это такие методы (системы), в которых принципы, положенные в основу сокрытия, основываются на особенностях формата хранения графических данных. Неформатные методы, напротив, используют не формат хранения графического изображения, а непосредственно сами данные, которыми изображение представлено в этом формате.

Одним из распространенных методов встраивания ЦВЗ является метод модификации наименьших значимых бит (LSB) областей изображения, к которым глаз человека менее чувствителен. Реализация данного метода имеет низкую вычислительную сложность (высокая скорость таких методов обусловливается отсутствием дополнительных преобразований).

По способу встраивания информации стегоалгоритмы можно разделить на линейные (аддитивные), нелинейные и другие. Алгоритмы аддитивного внедрения информации заключаются в линейной модификации исходного изображения, а ее извлечение в декодере производится корреляционными методами. При этом ЦВЗ обычно складывается с изображением-контейнером либо «вплавляется» (fusion) в него. В нелинейных методах встраивания информации используется скалярное либо векторное квантование. Определенный интерес среди других представляют методы, использующие идеи фрактального кодирования изображений.

В ходе исследования предполагается провести более детальный анализ способов внедрения ЦВЗ и получить их оценку.

Литература

1. **Стеганография**, цифровые водяные знаки и стеганоанализ: монография / А.В. Аграновский, А.В. Балакин, В.Г. Грибунин, С.А. Сапожников. М.: Вузовская книга, 2009. 217 с.
2. **Грибунин В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В.** Цифровая стеганография. М.: Солон-пресс, 2002. 272 с.

РАЗРАБОТКА МОДУЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УДАЛЕННОГО АНАЛИЗА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИЛОЖЕНИЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Один из самых сложных этапов разработки программного обеспечения — оптимизация кода (ОК), которая включает различные методы ОК с целью повышения эффективности.

ОК может проводиться как вручную программистом, так и автоматизированно. В последнем случае оптимизатор может быть отдельным программным средством или быть встроенным в компилятор. Кроме того, следует отметить, что современные процессоры могут самостоятельно оптимизировать порядок выполнения инструкций кода [1].

Для анализа производительности программных приложений в настоящее время применяются различные виды тестирования, такие как нагрузочное и стресс-тестирование, позволяющие проводить сбор показателей производительности и времени отклика программного кода или устройства в ответ на внешний запрос. Отличием второго метода является использование нагрузки, превышающей нормальный сценарий использования программного приложения.

Исходя из рассмотрения рынка существующих решений можно сделать вывод, что в настоящее время существует ограниченное количество готовых решений в области удаленного анализа и мониторинга производительности приложений. Большая часть этих приложений представляет собой коммерческие продукты, и не каждый разработчик может себе их позволить. Поэтому предлагаемая разработка является актуальной.

В качестве основного языка разработки был выбран C++, а также библиотека QT для разработки графического интерфейса системы. Выбор данных инструментов обусловлен возможностью использования их на различных платформах.

Результатом данного исследования является система анализа производительности программного кода стороннего приложения, позволяющая разработчикам выявлять ресурсоемкие участки программы, замедляющие ее исполнение. Отличительной особенностью системы является обеспечение замеров характеристик приложения без влияния на производительность исполнителя узла. Результаты замеров производительности представляется пользователю в удобной для восприятия форме в виде временных диаграмм различных процессов.

Литература

1. **Таненбаум Э.** Архитектура компьютера. — 5-е изд. СПб.: Питер, 2007.

А.Д. Волков, студ.; рук-ли М.А. Толстых, д.ф-м.н., в.н.с. (ИВМ РАН; МФТИ, Москва); Р.Ю. Фадеев, к.ф-м.н., с.н.с. (ИВМ РАН; МФТИ, Москва); А.В. Филатов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»); В.В. Шашкин, к.ф-м.н., н.с. (ИВМ РАН, Москва)

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЙ МЕЛКОЙ ВОДЫ НА СЕТКЕ ТИПА КУБИЧЕСКАЯ СФЕРА

Работа посвящена массивно-параллельному моделированию уравнений мелкой воды (УМВ) в линейном приближении на сетках типа «куб сфера». В 1972 году Садорни [1] предложил первую сетку такого типа, основанную на центральной проекции сетки с поверхности куба на сферу, для замены регулярных широтно-долготных сеток в климатических моделях, так как куб сфера обладает более однородной структурой и не имеет проблем со сгущением точек сетки в области полюсов, обусловленных сходимостью меридианов. Однако данный тип сеток предполагает выполнение дополнительных операций при переходах на областях сшивки граней куба.

Расположение узлов сетки позволяет создавать высокоэффективные параллельные программы, использующие данный тип сеток в задачах численного моделирования климата. Для организации параллельных вычислений разработан алгоритм MPI обменов данными, реализованный с помощью языка высокого уровня Fortran90. Полученная программа может быть запущена для n^2 процессов, где n — любое натуральное число.

В работе получены решения УМВ в линейном приближении на разных видах сеток типа «куб сфера», согласно методикам, предложенным в статье Вильямсона [2], были получены ошибки L_1 , L_2 , L_∞ норм относительно точного решения, полученного спектральными методами. Исследования масштабируемости на параллельных архитектурах позволяют заключить, что данный алгоритм является эффективным. Численные решения, полученные на исследуемых сетках, показали соответствие точному решению на промежутке 30 модельных дней. Однако был выявлен ряд недостатков, над которыми ведется дальнейшая работа с целью повышения точности и устойчивости решения.

Литература

1. **Sadourny R.** Conservative finite-difference approximations of the primitive equations on quasi-uniform spherical grids // Monthly Weather Review. 1972. Vol. 100. No 2. P. 136—144.
2. **A standard test set for numerical approximations to the shallow-water equations in spherical geometry / D. Williamson, J. Drake, J. Hack et al.** // J. Comput. Phys. 1992. Vol. 102. P. 211—224.

Б.Б. Григорьев, студ.; рук. А.Ф. Крюков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРИКЛАДНЫХ РЕШЕНИЙ НА ПЛАТФОРМЕ 1С:ПРЕДПРИЯТИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

Задача повышения эффективности предприятий за счет автоматизации всегда является ключевой. Внедрение системы управления производством позволяет решить ряд проблем: недоверенный учет, длительные сроки изготовления, ошибки в ценообразовании.

Фирма 1С с 1991 года разрабатывает типовые программные продукты для решения данных проблем. Однако каждое предприятие индивидуально, и поэтому перед специалистами предприятия становится задача доработки типовых решений либо разработки новых. Встроенный функционал платформы «1С: Предприятие» позволяет реализовать оба подхода. При выборе подхода необходимо руководствоваться экономической целесообразностью [1,2].

Использование доработанных типовых решений либо решений, разработанных с нуля под конкретное предприятие, позволит максимально точно выстроить бизнес-модель с учетом всех отраслевых специфик и особенностей конкретного предприятия. Соответственно полная и оперативная картина предприятия даст руководству основу для принятия правильных управленческих решений, ведущих к росту ключевых показателей эффективности.

Проведенная разработка обеспечивает создание новых и доработку типовых решений на платформе «1С: Предприятие» и оценку их целесообразности. В основу положен личный опыт автора по разработке простых конфигураций для начинающих пользователей. Полученные результаты, изложенные в докладе, позволяют получить комплексное представление о возможностях платформы «1С: Предприятие» для решения задач автоматизации и повышения эффективности управления.

Литература

1. **Разработка** управляемого интерфейса / В.А. Анжеронок, А.В. Островерх, М.Г. Радченко, Е.Ю. Хрусталёва. М.:ООО «1С-Пабблишинг», 2010.
2. **Радченко М.Г., Хрусталёва Е.Ю.** 1С: Предприятие 8.3. Практическое пособие разработчика. Примеры и типовые приемы. М.: ООО «1С-Пабблишинг», 2013.

Д.Г. Данилин, асп.; рук. В.О. Рыбинцев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ СТРУКТУРЫ АСИММЕТРИЧНОЙ МОДЕЛИ VPN СЕТИ

Широко применяемая в настоящее время технология VPN требует решения ряда технических вопросов, один из которых — обеспечение отказоустойчивости сети, т.е. сохранения возможности передачи трафика VPN при отказе любого ее звена.

Задача обеспечения отказоустойчивости VPN — сети с древовидной маршрутизацией трафика сводится к определению множества защитных ребер таким образом, чтобы выделенная на них полоса пропускания была минимальной. Математическая постановка задачи построения отказоустойчивой сети была приведена в статье [1].

Подход, в основе которого лежит понятие оптимального пополнения графа, к решению задачи обеспечения отказоустойчивости для VPN поточковой модели был впервые реализован в [2], но он в предложенном виде не работает для сети с асимметричным трафиком, кроме того, он не удовлетворяет ни одной стратегии защиты. Поэтому для его реализации в асимметричных моделях необходимы разработки, позволяющие учитывать следующие ключевые факторы: асимметрия требований конечных точек, асимметрия полосы пропускания на ребрах дерева, функция стоимости должна учитывать возможность дополнительного выделения защитной полосы пропускания.

Предлагаемый в работе алгоритм распределяет защитную полосу пропускания на каждом защитном ребре в обоих направлениях, преобразуя пополнения для прямого и обратного трафика.

Литература

1. **Данилин Д.Г., Рыбинцев В.О.** Алгоритм определения топологии отказоустойчивой VPN с минимально занимаемой дополнительной полосой пропускания в сети // Вычислительные сети. Теория и практика. № 28.
2. **Italiano G.F., Rastogi R., Yener B.** Restoration algorithms for virtual private networks in the hose model // IEEE INFOCOM. 2002. Vol. 1. Is. P. 131—139.

*О.О. Данилова, М.Ф. Набиуллина, студенты;
рук. И.К. Будникова, к.т.н., доц. (КГЭУ, г. Казань)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ZULUGIS ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В соответствии с требованиями Федерального закона ФЗ-190 «О теплоснабжении» должны быть созданы схемы и электронные модели систем теплоснабжения.

Постановление Правительства РФ [1] законодательно фиксирует необходимость создания электронных моделей системы теплоснабжения городов и раскрывает требования к ним.

Под электронной моделью системы теплоснабжения понимается математическая модель этой системы, привязанная к топографической основе города (поселения), предназначенная для имитационного моделирования всех процессов, протекающих в ней.

Геоинформационная система ZuluGIS и программно-расчетный комплекс ZuluThermo [2] позволяют решать весь набор задач, указанных в постановлении.

В данной работе исследуются возможности реализации следующих задач:

- автоматически создавать электронную модель системы теплоснабжения при нанесении ее на карту города (поселения) с графическим представлением объектов;
- строить пьезометрические графики и проводить их сравнение для разработки и анализа сценариев перспективного развития тепловых сетей;
- рассчитывать температурный график отпуска тепловой энергии для каждого источника тепловой энергии;
- проводить расчет показателей надежности теплоснабжения;
- проводить расчет отдельных элементов системы теплоснабжения, например источников тепловой энергии с целью определения потребности в топливе основном и резервном.

Литература

1. **Постановление** Правительства РФ «О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения»[Электронный ресурс]. Режим доступа: http://old.politerm.com/zuluthermo/doc/PP_RF_22_02_2012_N_154_new.pdf
2. **ГИС Zulu.** / Геоинформационная система Zulu – официальный сайт компании Политерм. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.politerm.com/products/geo/zulugis/>

ПРИМЕНЕНИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ЧИСЕЛ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ

Проблема достоверных вычислений является актуальным направлением в области теоретической информатики вследствие большого объема научных и инженерных задач [1]. Одной из таких проблем является решение задач вычислительной геометрии, например, построение выпуклой оболочки. Задачи вычислительной геометрии используются в распознавании образов, машинной графике, инженерном проектировании и т. д.

Универсальное представление числа (УПЧ) — это множество объектов $\{s, e, m, u, es, fs\}$, где s — знак числа, равный нулю или единице; e — порядок числа со знаком; m — мантисса без знака; u — бит неопределенности; es — размер экспоненты в битах; fs — размер мантиссы в битах. Введение дополнительных бит расширяет поле возможных значений формата, объединяя в едином формате возможности чисел с плавающей точкой и интервальной арифметики [2]. Арифметические операции определяются в формате с плавающей точкой, но в случае обнаружения округления числа за счет бита округления значение переходит в достоверный интервал, и дальнейшие вычисления ведутся с интервалами. Преимуществом УПЧ является устранение ошибок округления с помощью встроенного механизма интервальной арифметики.

Самым простым методом для построения выпуклой оболочки множества точек является алгоритм быстрой оболочки. Однако алгоритм вычислительно неустойчив из-за недостатков чисел с плавающей точкой, например, при наличии в исходном множестве близких друг к другу точек.

Для оценки результатов используется следующий эксперимент. Сгенерируем множество точек для построения выпуклой оболочки, найдем оболочку тремя способами: на основе чисел с плавающей точкой, интервальной арифметики и УПЧ и сравним полученные результаты с эталонным, вычисленным заранее.

Литература

1. **Bailey D.H.** High-precision floating-point arithmetic in scientific computation // Computing in science & engineering. 2005. Vol. 7. No 3. С. 54—61.
2. **Gustafson J.L.** The End of Error. Unum Computing. 2015.

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ ТРЕХМЕРНЫХ СЦЕН В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

В современном мире широко применяются системы компьютерной визуализации в реальном времени: в кинематографе, САПР, научных исследованиях, компьютерных играх и системах виртуальной реальности.

Задача сравнения различных методов визуализации является актуальной в связи с большим разнообразием алгоритмов, задач и архитектур вычислительных систем. От правильного выбора методов визуализации зависит эффективность использования ресурсов современных многопроцессорных видеоадаптеров.

Рассмотрим основные методы реалистичной визуализации трехмерных сцен с множеством источников освещения. Метод упреждающей визуализации сцены (*forwardrendering*) [1, 2] заключается в визуализации отдельных объектов с учетом освещенности от каждого источника света. Однако при большом количестве источников света данный метод не способен обеспечить приемлемую производительность и эффективность.

Метод отложенного освещения (*deferredshading*) [1, 2] представляет иной подход к визуализации, который заключается в построении для каждого пикселя сцены *G*-буфера (*geometrybuffer*) [1], содержащего всю информацию для вычисления итоговой освещенности и цвета только видимых фрагментов. Этот метод позволяет отделить геометрическую сложность сцены от расчета ее освещенности, но имеет свои недостатки, справиться с которыми позволяет метод отложенной визуализации с предварительным расчетом освещенности (*lightpre-passrenderer*)[1].

Целью данного исследования являются: разработка реализации представленных методов с использованием библиотеки OpenGL (*OpenGraphicsLibrary*) [2], проведение сравнительного анализа затрат времени на обработку одного кадра, загруженности процессора, памяти видеоадаптера и определение критериев применимости каждого из методов для конкретных типов визуализации. В докладе приводятся результаты проведенного исследования.

Литература

1. EngelW. GPUPro 4: AdvancedRenderingTechniques. CRCPress, 2013.
2. Вольф Д. OpenGL 4. Язык шейдеров. Книга рецептов / пер. с англ. А.Н. Киселева. М.: ДМК «Пресс», 2015.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕДОВОГО ШИФРОВАНИЯ К ЧИСЛАМ С ПЛАВАЮЩЕЙ ТОЧКОЙ

В настоящее время в информационных технологиях широко используются достижения современной криптографии [1]. Прогресс, однако, не стоит на месте, и вопрос повышения криптографической стойкости остается острым. В 2014 году американские ученые Джулс и Ристенпарт выдвинули новаторскую идею под названием «медовое шифрование» [2]: они предложили реализовать шифрование, при котором сложно отличить правильно расшифрованные данные от поддельных, сгенерированных при попытке расшифровки неверным ключом. Это заметно повышает стойкость зашифрованных данных к атакам перебором.

В данном докладе будут рассмотрены теоретические и практические вопросы применения концепции медового шифрования к данным типа «числа с плавающей точкой». В отличие от обычного шифрования для медового шифрования важен формат открытого текста: без его учета невозможно обеспечить максимальную достоверность данных, расшифрованных неверным ключом. Для применения медового шифрования к числам с плавающей точкой автор предлагает перекодировать их в целые числа, после чего применить к ним алгоритмы для медового шифрования целых чисел, ранее разработанные автором. Важно, что если у нас есть значения с плавающей точкой $fp1$ и $fp2$, то после перевода их в значения $int1$ и $int2$ для правильной работы алгоритмов должны выполняться следующие условия: 1) если $fp1 > fp2$, то $int1 > int2$; 2) если $fp1 < fp2$, то $int1 < int2$; 3) если $fp1 = fp2$, то $int1 = int2$.

Алгоритм для такого перевода был успешно разработан, реализован и протестирован автором данного доклада применительно к числам с плавающей точкой одинарной и двойной точности. Применение медового шифрования к числам с плавающей точкой может заметно повысить их защищенность к атакам методом перебора, часто встречающимся в реальной жизни при шифровании на ключе, сгенерированном из пароля. Автору неизвестны другие реализации медового шифрования чисел с плавающей точкой, в чем и заключается новизна данной работы.

Литература

1. **Шнайер Б.** Прикладная криптография: Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си. М.: Триумф, 2013.
2. **Juels A., Ristenpart T.** Honey Encryption: Security Beyond the Brute-Force Bound. // *Advances in Cryptology – EUROCRYPT 2014*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2014. P. 293—310.

Н.А. Кармилин, асп.; рук-ли Ю.Е. Мороховец, к.т.н., доц.;
Д.А. Орлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К СБОРУ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЛАЧНОЙ СРЕДЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

В современном мире одной из самых динамично развивающихся технологий является технология облачной обработки данных. Облачные хранилища, облачные вычислители, серверы, расположенные в облаке, уже сейчас довольно широко распространены.

Благодаря использованию облачных технологий можно добиться снижения сложности ИТ-систем предприятий, масштабируемости и гибкости их виртуальной инфраструктуры, легкости управления, снижения расходов на амортизацию оборудования. Поэтому предприятия, желающие увеличить производительность своей ИТ-инфраструктуры, переносят используемые ими данные и сервисы в облако, сталкиваясь при этом с проблемой повышения трудности оценки качества ИТ-инфраструктуры, определения рациональной конфигурации облака, возможности и необходимости переноса компонентов ИТ-инфраструктуры в облако.

В докладе представлен алгоритм сбора информации о корпоративной сети и работе ее серверов в случае предполагаемого переноса ИТ-инфраструктуры предприятия в облако, а также оригинальный, разработанный автором способ представления собранных данных в удобном для дальнейшего анализа виде.

Алгоритм обеспечивает сбор информации о серверах, использующихся на предприятии, о сервисах, которые работают на этих серверах, о сети, ее трафике, каналах связи. Сбор данных проводится с помощью сетевого сниффера *Snort*. Данная утилита запускается на каждом из серверов, поддерживающих сервисы, подлежащие переносу в облако.

Основной задачей алгоритма является сбор данных об используемых в системе сервисах, которые необходимо перенести в облако. Самыми значимыми показателями являются объем данных, передаваемых по сети, загруженность оперативной памяти и процессоров серверов. На основе собранных данных строится описание сервисов, определяется количество потребляемых ими ресурсов, динамика потребления ресурсов во времени, соответствующие максимальные, минимальные и средние значения по каждому из сервисов. В дальнейшем полученная информация может использоваться для проектирования облачной среды предприятия, проведения анализа эффективности полученного облачного решения по таким основным параметрам, как время отклика, скорость доступа, загруженность системы.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕГУЩЕЙ СТРОКИ

В настоящее время все актуальней становится предоставление информации рекламного или научно-познавательного характера посредством различного рода световых табло.

Проанализировав модели бегущей строки, можно выделить ряд недостатков, одним из которых является «тянущийся шлейф» при просмотре на близком расстоянии. Время запоминания человеческим глазом предыдущего изображения составляет около 100 миллисекунд [1]. Для того чтобы исключить «смазывание» пикселей, необходимо учесть это время при развертке строки. Приняв во внимание этот факт, после засвечивания одного фонта необходимо погасить его и только после этого, спустя не менее 100 мс, засветить следующий, благодаря этому не произойдет «смазывания», и фонты, из которых состоят символы и буквы, будут четкими, даже при просмотре на достаточно близком расстоянии.

Для сокращения потребления электрической энергии необходимо разделить табло бегущей строки на несколько модулей индикации и управлять всеми модулями при помощи сдвиговых регистров и одного дешифратора. Структурная схема приведена на рис. 1.

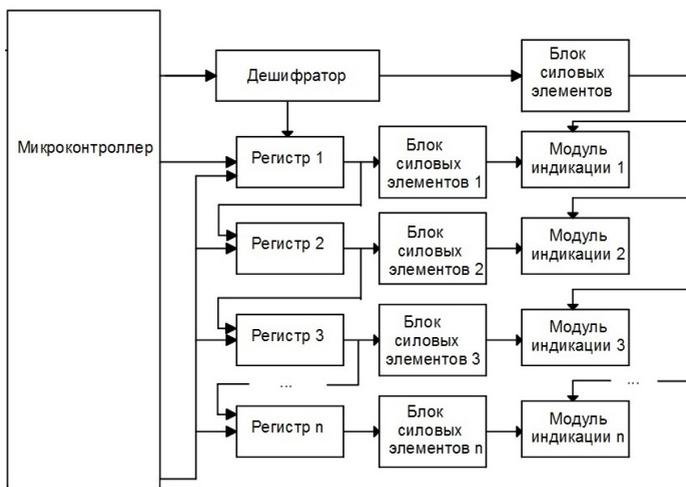


Рис. 1. Структурная схема бегущей строки

Следовательно, приняв во внимание свойство человеческого зрения, можно решить проблему с нечетким отображением информации на близком расстоянии, получив изделие с улучшенными характеристиками.

Литература

1. **Хайкин С.** Нейронные сети: полный курс. — 2-е изд.: пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2013.

А.А. Ларин, асп.; рук. Л.И. Абросимов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ДАТА-ЦЕНТРА

При построении дата-центра (ДЦ) множество технических средств объединяются сложной сетевой инфраструктурой, и это создает комплексную, сложную систему, состоящую из различных элементов, таких как сети хранения данных (СХД), высоконагруженные сервера, связующее сетевое оборудование. И этим комплексом для поддержания определенного уровня предоставления услуги (SLA) необходимо эффективно управлять [1]. Для этого необходима как система мониторинга, так и полноценная система управления (СУ). При этом возможна как автоматическая СУ, так и автоматизированная СУ с элементами автоматики.

СУ позволит перераспределять ресурсы вычислительной сети ДЦ, такие как неназначенные сетевые узлы, а также находящиеся в резерве серверные мощности и дополнительные хранилища информации. Также возможно перераспределение виртуализированных ресурсов, назначаемые по необходимости на программном уровне.

Для автоматических систем в конечном итоге должна быть выработана функция управления, адаптивно перераспределяющая ресурсы, которая зависит от снимаемых значений характеристик оборудования. Например, для СХД это скорость считывания с дисков, скорость записи, количество сбойных секторов. Для сетевого оборудования это значения скорости на сетевых интерфейсах, загруженность оперативной памяти и процессора. Для серверов, помимо прочего, важны значения характеристик во время дисковых операций, а, например, при Docker-контейнерной виртуализации — объемы требуемых значений ресурсов для запускаемых и уже работающих процессов [2].

В докладе представлены рассуждения о перераспределении ресурсов ДЦ, выработке функции управления и замерах значений характеристик оборудования.

Литература

1. **Zhang L., Ardagna D.** SLA Based Profit Optimization in Web Systems // 13th International Conference on World Wide Web (WWW'04). New York, USA, 2004.
2. **Boden Russell.** KVM and Docker LXC Benchmarking with OpenStack. [Электронный ресурс]. URL: <http://bodenr.blogspot.com/2014/05/kvm-and-docker-lxc-benchmarking-with.html>, May 2014.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ WEB-ПРИЛОЖЕНИЙ В КАЧЕСТВЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ МАЛОБЮДЖЕТНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В современном обществе человек взаимодействует с множеством информационных систем: работа с банками, государственными и медицинскими услугами, внутренними корпоративными системами предприятий, социальными сетями, электронной почтой и т. д. Удобство работы с ними обеспечивается простым и понятным графическим пользовательским интерфейсом, на текущий момент реализуемым как нативное, web- или гибридное приложение.

Подобные системы используются не только в крупных компаниях, но и в небольших коммерческих и некоммерческих организациях, не обладающих ресурсами для приобретения дорогого программного обеспечения. Ввиду этого становится все более востребованным разработка пользовательского интерфейса для малобюджетных информационных систем.

Выбор типа пользовательского интерфейса определяется следующими факторами: основными задачами и целями информационной системы, ожидаемыми нагрузкой, спектром действий пользователя, парком устройств, ограниченностью средств на разработку и поддержку приложения и пр. Также на данный момент повышается популярность web-решений, в связи с чем задача выбора способа реализации пользовательского интерфейса становится все более актуальной.

В докладе приведен сравнительный анализ web- и нативных приложений с учетом разработки для малобюджетных информационных систем. Выбор критериев сравнения и полученные результаты обусловлены различиями в количестве ресурсов, условиях внедрения, эксплуатации и требованиях при разработке приложений для высоко- и малобюджетных информационных систем.

Анализ проводился по следующим критериям: временные и денежные затраты, требуемый функционал, доступ к аппаратным ресурсам, фрагментация парка устройств, масштабируемость, оффлайновые возможности, производительность, тестирование, поддержка, обслуживание. На основе полученных результатов было принято решение реализовывать в предстоящей бакалаврской работе пользовательский интерфейс информационной системы на базе web-приложения.

А.В. Осипов, асп.; рук. Ш.А. Оцоков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ УРОВНЯ ЗАГРУЗКИ РЕСУРСОВ СЕРВЕРНОГО ПАРКА

Одним из современных подходов в оптимизации ресурсов серверного парка является применение механизмов виртуализации. Поиск оптимального распределения является задачей дискретной оптимизации. Входными данными будут являться: множество типов ресурсов серверного парка $\{1,..,NC\}$; множество серверов $\{Hk\}$; множество логических серверов $\{Sj\}$; а также матрица их требований $\{Qi,j\}$, $j=1..NS$, $i=1..NC$; дополнительные ограничения $\{Ed,j\}$, $d=1..NX$, $i=1..NC$; вектор приоритетов ресурсов $\{Q\}$, $i=1..NC$. Целью оптимизации является минимизация числа физических серверов путем максимизации коэффициента загрузки ресурсов тех серверов, которые уже задействованы. Для того, чтобы решить задачу многокритериальной оптимизации, к которой мы пришли, необходимо отказаться от попыток охватить все комбинации физических и логических серверов одновременно. Нужно разбить задачу на множество более простых подзадач. Простейшим способом решить поставленную задачу является полный перебор. Но большая трудоемкость делает его нецелесообразным. Рациональней будет разбить задачу оптимизации на подзадачи локальной оптимизации для каждого из серверов без учета глобальных целей оптимизации. Для каждого физического сервера при этом ставится локальная задача оптимизации. Объем перебора становится меньше. Однако на каждом шаге теряются все серверы, кроме рассматриваемого.

Наиболее популярным методом решения поставленной задачи является метод динамического программирования Беллмана, [1] который обеспечивает глобальную оптимизацию при разбиении одной сложной задачи на множество простых. Однако и в этом методе число шагов может сильно колебаться. Глобальная целевая функция не может быть сформулирована из-за неизвестного числа задействованных серверов. Таким образом, в чистом виде появляются трудности для его применения.

Для решения задачи также применимы методы случайного поиска, гриди-методы, метод локального поиска [2]. Однако их анализ приводит к выводу, что наилучшим методом оптимизации загрузки ресурсов станет комбинация из нескольких методов и возможная их модификация.

Литература

1. **Беллман Р., Дрейфус С.** Прикладные задачи динамического программирования. М.: Наука, 1965.
2. **Беллман Р., Калаб Р.** Динамическое программирование и современная теория управления. М.: Наука 1969.

М.А. Руденкова, асп.; рук-ли Л.И. Абросимов, д.т.н., проф.;
С.Н. Хорьков, зам. директора ИВЦ (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ И АНАЛИЗ СТАТИСТИКИ ТРАФИКА ДЛЯ КОРПОРАТИВНОЙ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ

В настоящее время наблюдается повсеместное распространение беспроводных сетей стандарта IEEE 802.11 и различных пользовательских устройств, поддерживающих данный стандарт [1,2]. Трафик корпоративной беспроводной сети становится соизмерим с трафиком корпоративной проводной сети. Для планирования предоставляемых ресурсов требуется средство для оценки пропускной способности и статистики проходящего трафика.

Существуют различные методики оценки пропускной способности, но не многие из методик реализуемы в работающей корпоративной сети. Популярными методиками в работающей сети являются: прослушивание трафика и считывание информации о количестве проходящего трафика с граничных устройств [3,4]. В данном докладе приводится методика измерения пропускной способности с помощью простого протокола сетевого управления (Simple Network Management Protocol, SNMP) и использование средства сетевого распознавания приложений (Network-Based Application Recognition, NBAR) для сбора статистики используемых в сети протоколов. Новизна разработанной методики в использовании SNMP для сбора информации о пропускной способности и используемых протоколах для возможности их централизованной обработки.

В данном докладе приводятся результаты измерений пропускной способности и анализ статистики трафика при данных измерениях. Полученные результаты используются в дальнейшей работе по разработке адаптивной настройки беспроводных точек доступа для условий конкретных сетей.

Литература

1. **Рошан П., Лиэри Д.** Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11: пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс». 2004. 304 с.
2. **Cisco Systems, Inc.** NetFlow Configuration Guide, Cisco IOS Release 12.4 // Cisco Systems, Inc., 2011. 294 p.
3. **Шмидт К.Дж., Мауро Д.Р.** Основы SNMP. — 2-е изд. М.: Символ-Плюс, 2012. 520 с.
4. **С. Na, J. K. Chen, T. S. Rappaport.** Measured Traffic Statistics and Throughput of IEEE 802.11b Public WLAN Hotspots with Three Different Applications: Wireless Communications, IEEE Transactions on In Wireless Communications // IEEE Transactions on. 2006. Vol. 5. No 11. P. 3296—3305.

В.А. Суховерхий, асп.; рук. Л.И. Абросимов, д.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ДЕФИЦИТА ПО НА КОМПЬЮТЕРЕ АРХИТЕКТУРЫ «ЭЛЬБРУС»

При анализе проблем дефицита программного обеспечения рассмотрим особенности ЭВМ на базе процессоров «Эльбрус».

Согласно официально предоставленным данным [1] семейство процессоров «Эльбрус» работает на собственной архитектуре семейства VLIW. Подход VLIW сильно упрощает архитектуру процессора, перекладывая задачу распределения вычислительных устройств на компилятор. Поскольку отсутствуют большие и сложные узлы, сильно снижается энергопотребление.

Но также подход VLIW имеет ряд недостатков:

- код для VLIW обладает невысокой плотностью;
- архитектура VLIW выглядит довольно экзотической и непривычной для программиста.

Для компьютеров с процессором семейства «Эльбрус», существуют три операционные системы: «Эльбрус», «МСВС», «OS_E90», которые работают в режиме аппаратной эмуляции платформы x86 при лицензионной независимости от Intel и достижении производительности на уровне 80 % нативной.

Все существующие дистрибутивы имеют стандартный набор для Unix систем: Xwindow, GTK+,QT и др. стандартное *nix ПО [2]. Но использование устаревших версий ядра при классическом построении unix системы делает невозможным запуск приложений актуальных на данный момент, что создает проблему дефицита ПО. Так, например, ОС «Эльбрус» использует ядро linux 2.6 (2003 год), ОС «МСВС» построена на ядре linux 2.4 (2001 год) [3] и ОС «OS_E90» базируется на ядре Solaris 2.5.1 (1996 год) [4].

Литература

1. **Микропроцессор** Эльбрус-4С. URL: <http://www.mcst.ru/mikroprocessor-elbrus4s>, (дата обращения: 13.10.2016).
2. **Операционная** система Эльбрус. URL: http://www.mcst.ru/os_elbrus, (дата обращения: 13.10.2016).
3. **Википедия** «Ядро Linux». URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ядро_Linux, (дата обращения: 13.10.2016).
4. **Википедия** «Solaris». URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Solaris>, (дата обращения: 13.10.2016).

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ФОРМИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АНАЛИТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ КОНТУРОВ

Интерес к вычислительной сети (ВС) вызван потребностями пользователей в информационном обеспечении. Цель проектирования ВС состоит в том, чтобы на основании характеристик функционирующего объекта выбрать состав технических устройств, средств связи, информационное и программное обеспечение, структуру и организацию ВС. Для оценки производительности ВС необходимы модели, которые учитывают размерность ВС и базируются на аналитических соотношениях, которые позволяют оценивать предельную производительность ВС. Таким требованиям удовлетворяют модели, использующие метод контуров [1], в котором выполняются: описание топологической структуры ВС; построение логической и функциональной структуры ВС; формализованного детализированного описания потока заявок на обслуживание; составление и решение линейных и нелинейных уравнений для определения требуемых вероятностно-временных характеристик функционирования ВС. Формирование на основании матрицы T функциональной матрицы F , предназначенной для отображения функциональных элементов E , соответствующих устройствам Y , отображается элементами $EY(EY \subset E)$, и каналов K отображается элементами $EK(EK \subset E)$, которые задерживают транзакции при обработке и оказывают существенное влияние на производительность ВС. На основании матрицы T , можно сформировать матрицу F функциональной структуры, в которой

$$F = \|f(A.r - B.k)i, (A.r - B.k)j\| = \begin{cases} \omega, & \text{если } A = B \text{ и } E \in EY; \\ \theta, \gamma, & \text{если } A \neq B \text{ и } E \in EK; \\ 1, & \text{если } A \neq B \text{ и } E \in ES, \end{cases}$$

где i и j — соответственно строки и столбцы в матрице F , а r и k — разъемы устройств A и B . Алгоритм формирования функциональной матрицы F включает следующие этапы:

1) ввод элементов E , учитывающих задержки в линиях связи или устройствах; 2) заполнение диагональных элементы EY и EK ; 3) *составление нелинейных уравнений по функциональной матрице F* ; 4) после решения нелинейных уравнений определение функциональные характеристики.

Литература

1. **Абросимов Л.И.** Базисные методы проектирования и анализа сетей ЭВМ: учебное пособие. М.: Университетская книга, 2015. 248 с.

Ю.Ф. Хузина, студ.; рук. Д.А. Карвовский, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА БИБЛИОТЕК ДЛЯ ОБМЕНА ПАКЕТАМИ МЕЖДУ МОДУЛЯМИ СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

В настоящее время в области управления техническими процессами активно применяются системы реального времени. Применение данных систем позволяет максимально быстро реагировать на события, происходящие на объекте управления такой системы.

При работе с данным видом систем необходимо учитывать ряд особенностей:

- 1) система должна успеть отреагировать на событие, произошедшее на объекте, в течение времени, критического для этого события;
- 2) система должна успевать реагировать на одновременно происходящие события. Если два или несколько внешних событий происходят одновременно, ей нужно успеть среагировать на каждое из них в течение интервалов времени, критических для этих событий.

Помимо вышеперечисленных особенностей, относящихся к системам реального времени в целом, при разработке программного обеспечения для операционных систем реального времени (ОСРВ) следует учесть следующие средства, свойственные ОСРВ [1]:

- 1) более развитые механизмы межпроцессного взаимодействия;
- 2) средства для работы с таймерами и реальным временем;
- 3) алгоритмы планирования, учитывающие кванты времени.

При разработке библиотек были учтены все особенности ОСРВ. Библиотека включает в себя средства для передачи бинарных данных между процессами и описание протокола обмена. Разработка с учетом свойств ОС позволила добиться эффективной и быстрой работы системы, сокращение задержек, связанных с вводом, выводом и передачей данных. Разработка велась с использованием современных стандартов языка высокого уровня C++ и с применением шаблонов проектирования, что позволило достичь максимальной гибкости ПО. Разработанные модули с минимальными изменениями могут быть использованы в том числе и для систем общего назначения, что делает библиотеку универсальной.

Литература

1. Ослендер Д. М., Риджли Дж. Р., Рингенберг Дж. Д. Управляющие программы для механических систем: Объектно-ориентированное проектирование систем реального времени. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2004. 416 с.

С.В. Чернин, асп.; рук. Л.И. Абросимов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА МОНИТОРИНГА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СПУТНИКОВОГО КАНАЛА СВЯЗИ

Спутниковые каналы связи применяются там, где доступ к другим каналам связи затруднен. Типичной чертой спутникового канала связи является его низкая емкость, обусловленная высокой ценой полосы пропускания. В таких условиях важную роль играет оптимизация внешнего трафика, задача, которую невозможно решить без предварительного решения задачи мониторинга проходящего через канал трафика.

Для решения этой задачи был выбран программный пакет The WireShark Network Analyzer [1], позволяющий захватывать и анализировать трафик. Поскольку для целей проводимого автором анализа не требуется полезная нагрузка пакетов, программа собирает только заголовки сетевых пакетов и время их поступления. Позже собранные данные анализируются с применением математических программных пакетов.

Данный анализ позволяет определить реальную производительность спутникового канала связи при различных режимах работы с применением различных сетевых протоколов и оценить их влияние на временные характеристики вычислительной системы, использующей этот канал связи. Применяя генераторы трафика и тестовые запросы (к базам данных, почтовым серверам и т.п.), можно определить характеристики отдельных устройств в сети и временные характеристики их сетевого взаимодействия, что дает необходимые экспериментальные данные для применения их в математической модели функционирования сети, созданной на основе метода контуров [2].

Данные работы ведутся для построения проекта программно-аппаратного комплекса мониторинга, оценки и выработки управляющих воздействий на вычислительную сеть со спутниковыми каналами связи.

Литература

1. **The WireShark Network Analyzer** http://download.cnet.com/Wireshark-Network-Protocol-Analyzer/3000-2112_4-10786758.html
2. **Абросимов Л.И.** Базисные методы проектирования и анализа сетей ЭВМ: учебное пособие. М.: Университетская книга, 2015. 248 с.

УПРАВЛЕНИЕ И ИНФОРМАТИКА В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

*Председатель секции — к.т.н., доцент Д.Н. Анисимов
Секретарь секции — аспирант Е.Д. Дроздова*

А.К. Абд Эльрахим, асп.; рук. В.А. Шихин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОСЕТЬЮ

В последнее время исследования в области электроэнергетических систем (ЭЭС) часто связаны с переходом от полностью централизованных систем к распределенным и сопровождаются попытками создания интеллектуальных электроэнергетических систем с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС или Smart Grids), в которых различные субъекты системы (поставщики, потребители, генерация, накопители, сеть) активно взаимодействуют в процессах работы системы. Такие системы обладают многими преимуществами, например возможностями расширения сетей за счет подключения новых генерирующих источников энергии и потребителей. В отличие от традиционных ЭЭС с централизованной генерацией в ИЭС ААС используется распределенная генерация с различными источниками энергии, включая накопители. Кроме того, поток энергии в сети не однонаправленный, что усложняет задачи управления системой.

В докладе объектом рассмотрения является микросеть (Microgrid), которая является локальной энергосистемой, предполагающей создание на определенной территории собственных энергосетевых структур, способных работать в том числе автономно. Микросеть, как правило, обладает различными источниками генерации и должна удовлетворять спросу потребителей. Для обеспечения эффективной работы микросети система управления должна регулировать напряжением и частотой, т.е. управлять генерацией в связи с нагрузкой и спросами потребителей. Кроме того, система управления должна определять режим работы микросети и реагировать на изменения в распределенных источниках энергии и нагрузках.

В связи с вышесказанным в данной работе рассматривается возможность построения интеллектуальной системы управления микросетью на основе мультиагентного подхода [1]. В этой связи в докладе представлены возможности и ограничения применения указанного подхода в конкретной прикладной области.

Литература

1. **Multi-agent** systems' asset for smart grid applications / G. Rohbogner , U.J. Hahnel , P. Benoit , S. Fey // Comput Sci Inf Syst. 2013. 10(4):1799—1822.

Ж.Р. Алимбекова, студ.; рук. В.А. Шихин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ НАСТРОЙКИ ВЫСОКОТОЧНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ РАЗНОЙ ИНЕРЦИОННОСТИ

Вопросы точного и быстрого управления в технических системах различного назначения и свойств всегда оставались актуальными. На сегодняшний день накоплен весьма значительный опыт, связанный с применением классических промышленных регуляторов. Также немало работ опубликовано по методикам настройки регуляторов. Например, методы Зиглера—Никольса [1] и Чина—Хронеса—Ресвик [2] предлагают поиск коэффициентов ПИД-регулятора при помощи варьирования пропорционального коэффициента до момента появления автоколебаний, а остальные параметры рассчитываются на основе найденного K_p и времени регулирования. Однако при этом не учитывается инерционность объектов. Кроме того, то, что может оказаться хорошим для одного объекта, не всегда будет приемлемым для другого.

В качестве исследуемых разнотипных объектов для выполнения данной работы являются ЭВТУ (электровакуумные технологические нагревательные установки) и система привода позиционирования, резко отличающиеся своими динамическими свойствами. Рассмотрены не только классические, но и интеллектуальные регуляторы, которые по своей структуре и настройке считаются более сложными, но хорошо подстраиваемыми под внешние условия, а также самонастраивающимися.

В докладе представлено исследование по вопросам необходимости внедрения более сложных регуляторов, насколько показатели качества регулирования (и какие конкретно) окажутся лучше, оправдывают ли интеллектуальные регуляторы требуемые затраты и привлекаемые ресурсы.

Ответы на данные вопросы рассмотрены с точки зрения не только критериев быстрейшего действия и точности, но и с позиций энергетических и экономических потерь.

Литература

1. **Вадутов О.С.** Настройка типовых регуляторов по методу Зиглера—Никольса: методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов, обучающихся по направлениям 210100 «Электроника и микроэлектроника» и 201000 «Биотехнические системы и технологии». ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2014. 10 с.
2. **Ким В.Р.** Управление, программирование и визуализация технологических процессов посредством виртуального контроллера: магистерская диссертация. Некоммерческое акционерное общество «Алматинский университет энергетики и связи», 2015.

С.Н. Антохин, Е.С. Горбикова, студенты; рук-ли А.П. Еремеев, д.т.н., проф.; О.С. Колосов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СПЕЦИФИКА ОБРАБОТКИ РИТМИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОРЕТИНОГРАММ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ДИАГНОСТИКИ ПАТОЛОГИЙ СЕТЧАТКИ ГЛАЗА

Ритмические электроретинограммы (ЭРГ) — это реакция сетчатки глаза в виде биопотенциала на действие световых вспышек определенных стандартных частот от 8,3 до 30 Гц. Использование их свойств во временной области в качестве формализованных признаков при построении систем диагностики глазных заболеваний методами искусственного интеллекта [1] оказывается малоэффективным. Более информативным представляется изучение амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) сетчатки, получаемых путем обработки ритмических ЭРГ. Однако оценка АЧХ динамического объекта путем обработки его реакции на последовательность импульсов фиксированной частоты является малоизученным подходом. Причина этого связывается с необходимостью раскладывания в ряд Фурье по гармоникам реакции объекта. В [2] показывается, что простое сопоставление амплитуд и фаз гармоник выходного и входного сигналов линейного объекта приводит к погрешностям в определении частотных свойств объекта и находятся условия, когда этими погрешностями можно пренебречь.

В докладе рассматривается специфика обработки ритмических ЭРГ, связанная с созданием управляемой базы данных ЭРГ и результатов их обработки, с необходимостью оцифровки графических представлений ЭРГ, разложением ЭРГ в ряд Фурье и оценкой промежуточных точек АЧХ сетчатки путем искусственного удлинения нулями периода наблюдения.

Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-01-00054а).

Литература

1. **Оценка** частотных свойств динамического объекта импульсной последовательностью фиксированной частоты / О.С. Колосов, А.П. Еремеев, А.Д. Пронин и др. // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: Сборник трудов XXV Международной научно-технической конференции, 14—20 сентября 2016 г. Алушта. М.: Технология, 2016. С. 55.

2. **Оценка** частотных свойств динамического объекта тестирующим импульсом / Д.А. Баларев, Е.С. Горбикова, О.С. Колосов, А.В. Сахарова // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: Сборник трудов XXV Международной научно-технической конференции, 14—20 сентября 2016 г. Алушта. М.: Технология, 2016. С. 40.

О.А. Астраханцева, асп.; рук-ли В.И. Голубев, к.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ»); В.В. Феденков, к.т.н. (АО «ЦНИИАГ», Москва)

СИНХРОНИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ЗАТВОРА ШЛЮЗА КАНАЛА им. МОСКВЫ С ПОМОЩЬЮ ЧАСТОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОПРИВОДОМ

К основным требованиям, предъявляемым к системе управления (СУ) движением затвора шлюза, относятся: осуществление синхронизации движения двух сторон затвора в допустимых пределах, высокое быстродействие, невысокая стоимость и долговечность.

В данном докладе проведено сравнение двух возможных вариантов управления затвором шлюза с использованием гидропривода. Первый вариант – управление за счет изменения частоты вращения приводного двигателя с помощью преобразователя частоты с использованием нерегулируемого насоса, второй вариант — управление с помощью регулируемого насоса с управляющим электрогидравлическим усилителем. Для определения главных показателей конкурентоспособности и для сравнения способов управления строятся переходные процессы моделей СУ. По характеру переходных процессов делаются выводы о состоянии системы.

На рис. 1 показаны переходные процессы, полученные при моделировании в пакете Simulink среды MatLab. Из сравнения кривых можно сделать вывод, что переходный процесс системы управления затвором шлюза с использованием частотного управления (кривая 2) имеет более высокое быстродействие, чем применяемое в настоящее время управление с насосом переменной подачи (кривая 1). Следовательно, и синхронизация движения двух сторон затвора будет достигаться быстрее. Величина перерегулирования в двух моделях практически одинакова и отличается не более чем на 1 %.

При этом надо учитывать и значительное упрощение и снижение стоимости гидравлического оборудования, а также увеличение его долговечности за счет снижения средней скорости вращения насоса.

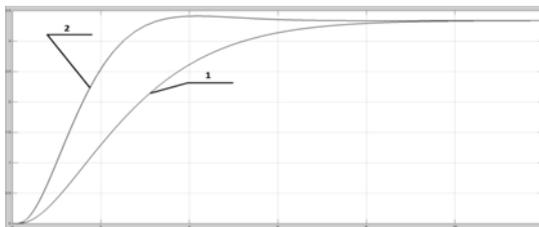


Рис. 1. Переходные процессы для анализа динамических качеств

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕЦИФИКИ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ НАБЛЮДАЕМОСТИ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

Цифровая подстанция (ЦПС) — основной элемент интеллектуальной системы Smart Grid, представляющий собой набор технологий, позволяющих перейти исключительно к цифровой форме обмена и обработки данных. Для целей исследования и проектирования таких объектов требуется разработка как новых подходов, так и форм математических моделей.

Один из известных подходов к моделированию электроэнергетических объектов [1] связан с введением понятия Common Information Model (CIM) — общая модель информации — «абстрактная модель, которая все множество элементов электроэнергетической системы представляет стандартным образом в виде описания объектов, их свойств и связей между ними. Такое единое описание позволяет осуществлять интеграцию различных приложений, выполненных независимыми изготовителями».

В докладе делается попытка построить динамическую модель ЦПС, используя математический аппарат пространства состояний [2] и перейти к анализу наблюдаемости исследуемой динамической системы на основе ее анализа.

В частности, исследуется проблема возникновения полной или частичной потери наблюдаемости системы при наличии аварийных ситуаций, а также различные возможности восстановления наблюдаемости. При этом предлагается последовательное рассмотрение элементов матрицы наблюдаемости, их влияние на состояние системы при различных режимах работы.

Предметом разработки также является создание методики восстановления наблюдаемости системы, которая опирается, в частности, на обнаружение источников аварийности, возможности замены потерянной информации, косвенных перерасчетов в режиме «online» или «offline». Результаты исследований сопровождаются моделированием.

Литература

1. **Стандарты** серии ГОСТ Р МЭК 61850-7.
2. **Нейдорф Р.А.** Теория автоматического управления в технологических системах: учебное пособие. Ухта: Институт управления, информации и бизнеса, 2005.

Е.А. Буткова, студ.; рук. В.А. Шихин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА «POWER ON» ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ЭЛЕКТРОСЕТЕВОЙ КОМПАНИИ

Современная динамично развивающаяся энергетическая отрасль требует применения эффективных программно-технических решений для автоматизации своих производственных и технологических процессов, таких как диспетчерское технологическое управление (АСДТУ), противоаварийное управление, а также оповещение и предотвращение аварийных ситуаций в электроэнергетической системе и др.

В докладе рассматривается специальное программное обеспечение, разработанное с учетом особенностей функционирования электросетевого комплекса, позволяет качественно решать указанные задачи.

Результатом внедрения грамотно построенной системы АСДТУ компании становятся такие факторы как [1]:

- повышение скорости и точности сбора и обработки необходимой информации для диспетчерского управления;
- повышение качества клиентского обслуживания в связи с уменьшением длительности и количества отключений потребителей;
- повышение надежности и стабильности электроснабжения потребителей и электросетевого комплекса в целом;
- возможность интеграции на базе единой платформы комплексов СДТУ, АСТУ, ПА.

Устойчивый рост потребления электрической энергии в условиях дефицита инвестиционных ресурсов на развитие электроэнергетики вынуждает особенно тщательно оценивать существующие и перспективные производственные возможности электросетевых компаний, а также определять реальные масштабы необходимой реконструкции и развития.

Таким образом, в качестве программно-аппаратной платформы для реализации данной целевой архитектуры был выбран программный продукт PowerOn. В докладе анализируются как качественные преимущества указанной системы, так и отмечены определенные недостатки, требующие дополнительного внимания.

Литература

1. **Чегодаев А.В.** Единая концепция автоматизации оперативно-технологического управления электрическими сетями города Москвы. М.: МОЭСК. 2013.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАНТОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Объекты управления (ОУ), описываемые математическими моделями с запаздыванием, встречаются во многих отраслях промышленности. При создании САУ с такими ОУ применяются типовые ПИ-регуляторы. Их основные преимущества — простота реализации и настройки, а основным требованием к САУ является обеспечение параметрической грубости и качество отработки внешних возмущений.

С развитием микропроцессорных САУ сложность управляющего устройства перестает быть сдерживающим фактором. Целью настоящей работы является исследование возможности повышения качества отработки параметрических и внешних возмущений на основании использования более сложных регуляторов.

Исследовалась возможность построения САУ с полиномиальными регуляторами [1, 2] различной степени сложности. Использование этого типа регуляторов предполагает аппроксимацию элемента запаздывания передаточной функцией. Для этого предложено использовать аппроксимации Паде [3].

В работе приводятся сравнительные данные САУ с полиномиальными регуляторами 5-го, 3-го и 2-го порядка. Исследовалась реакция САУ на изменение коэффициента усиления и времени запаздывания ОУ, а также отработка возмущений случайного характера.

Исследования показали, что применение более сложных регуляторов позволяет обеспечить САУ более высокую параметрическую грубость в сравнении с САУ на основе типовых ПИ-регуляторов при сохранении качества отработки случайных возмущений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках базовой части госзадания в сфере научной деятельности на 2014—2016 гг.

Литература

1. **Тютиков В.В., Тарарыкин С.В.** Робастное модальное управление технологическими объектами. Иваново: ИГЭУ, 2006.
2. **Гайдук А.Р.** Теория и методы аналитического синтеза систем автоматического управления (полиномиальный подход). М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012.
3. **Бейкер Дж., Грейвс-Моррис П.** Аппроксимации Паде / пер. с англ. Е.А. Рахманова, С.П. Суетина; под ред. А. А. Гончара. М.: Мир, 1986.

А.Н. Головтеева, студ.; рук. В.М. Беседин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА НЕПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА

Под «поиском» понимается процесс обследования области пространства возможного нахождения искомого объекта с целью его обнаружения. Системы автоматического управления, работающие в режиме «поиск», в настоящее время используются для решения проблем в сложных энергетических системах, производственных комплексах, транспортных и коммуникационных сетях. На их основе создаются глобальные системы для приема сигналов от терпящих бедствие, космические системы радио и телевидения, осуществляется навигация судов, самолетов, наземного транспорта. Широкое применение находят локационные системы на основе лазеров, используемые в космических системах наблюдения для получения изображений целей и зондирования [1]. Системы наведения высокоэнергетического лазерного луча — сравнительно новая область науки и техники. Поэтому очевидна необходимость дополнительных исследований и разработок в этой области.

В настоящей работе рассматривается построение системы наведения по многоконтурной схеме, обеспечивающее высокую угловую точность. Первый контур («грубый») предназначен для отработки больших рассогласований и предварительного наведения оси излучателя на приемник. Второй контур («точный») работает в поле ошибок «грубого» и обеспечивает точное наведение луча на искомый объект.

Целью данной работы является разработка оптимальных алгоритмов осуществления двухэтапного поиска при отсутствии ложных контактов для случая стационарного поля (неподвижного объекта). В качестве критерия эффективности поиска принимается полная вероятность обнаружения объекта, которая определяется вероятностью обнаружения на первом и втором этапах поиска. На каждом из этапов возможен просмотр области поиска согласно одному из следующих вариантов: оптимальный просмотр, равномерный и оптимальный в классе равномерных. В отличие от известных работ в данном докладе решается задача разработки алгоритмов пространственного поиска в случае, когда условная вероятность обнаружения $f_i(r_i)$ имеет вид, отличный от экспоненты.

Литература

1. Чернявский Г.М., Чернов А.А. Лазерные системы в космосе. М.: Радио и связь, 1995.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПАРАЛЛЕЛЬНО РАБОТАЮЩИХ НА ОБЩЮЮ НАГРУЗКУ СЛЕДЯЩИХ СИСТЕМ

В настоящее время наблюдается интерес к использованию параллельно работающих следящих мини-приводов для управления угловым положением больших пространственно распределенных нагрузок, например, таких, как аэродинамические поверхности самолета большой длины [1]. Такое применение мини-приводов призвано существенно сократить габариты и вес всей конструкции. Сами мини-приводы оказываются пространственно распределенными по длине поверхности, и между ними через нагрузку появляются упругие перекрестные связи.

Динамика совместной работы электрических двигателей следящих систем на общую нагрузку изучена достаточно хорошо [2]. Однако эти исследования касаются либо параллельной работы двигателей через общий редуктор, выходной вал которого жестко соединен с нагрузкой, либо двигатели соединяются последовательно через общий первичный вал редуктора. В связи с этим актуальной задачей является анализ динамических свойств параллельно работающих на общую распределенную нагрузку следящих мини-приводов с учетом упругих перекрестных связей, возникающих благодаря общей нагрузке.

В докладе показывается, что, используя стандартные приемы структурных преобразований, задачу исследования динамики параллельно работающих мини-приводов на общую пространственно распределенную нагрузку можно свести к задаче анализа устойчивости и качества параллельно работающих электромеханических систем стабилизации скорости вращения при их работе на общую не жестко связанную с двигателями нагрузку [3]. Такое представление позволяет воспользоваться уже отработанными приемами анализа подобных систем применительно к параллельно работающим мини-приводам.

Литература

1. **Электромеханические** силовые мини-приводы для «более электрифицированного» самолета / Н.В. Крылов, В.И. Лалабеков, И.И. Огольцов и др.; под ред. С.Л. Самсоновича. М.: Изд-во МАИ, 2016.
2. **Динамика** многодвигательных следящих систем / под ред. Л.А. Сенько. М.: Машиностроение, 1983.
3. **Колосов О.С., Подольский Д.С.** Устойчивость и качество параллельно работающих электромеханических систем гарантированного питания // Промышленные АСУ и контроллеры. 2007. № 1. С. 54—56.

А.О. Гурина, студ.; рук. В.Л. Елисеев к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УМНОЙ ЛАМПЫ

Глубокое проникновение информационных технологий в повседневную жизнь и быт характеризуется такими феноменами, как «умный дом», «умный автомобиль», «умный город» и т.п.



Рис. 1. Умная лампа

В мире «умных» вещей особое место занимают так называемые smart-bulbs — умные лампы. По сравнению с обычными светодиодными лампами они снабжены логикой дистанционного управления интенсивностью и цветом освещения. При всей простоте установки путем вворачивания в стандартный патрон E27 такая лампа (рис. 1) представляет собой полноценное «умное» устройство с развитым программным обеспечением, управляемое по Bluetooth или по WiFi, в том числе через Интернет [1].

Такие возможности делают умную лампу объектом пристального внимания хакеров, так как несанкционированный удаленный доступ позволяет использовать коммуникационные функции лампы для осуществления атак типа DDoS [2]. Программное обеспечение умной лампы основано на типовых хорошо изученных решениях, для которых применимы типовые методы взлома. Использование небезопасных протоколов сетевого обмена или некорректно реализованных методов защиты данных в таких устройствах может стать причиной возможности неправомерного доступа.

Для разработки методов защиты, подходящих для «умных» устройств, в данной работе проводится исследование типовых сценариев использования умной лампы и выявление потенциальных уязвимостей.

Использованные подходы, а также выработанные принципы защиты могут оказаться полезными не только для умных ламп, но также и для других «умных» устройств, например, кухонной техники.

Литература

1. **Блог компании Medgadgets**, разное [Электронный ресурс] Luminous BT Smart Bulb: что внутри умной лампочки? Обзор + разборка на запчасти. - URL: <https://habrahabr.ru/company/medgadgets/blog/236947/> (12.10.2016).
2. **«Хакер»** [Электронный ресурс] URL: <https://xakep.ru/2016/09/02/iot-ddos/> (12.10.2016).

А.С. Демидова, В.А. Липатов, студенты;
рук. А.А. Есюткин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ОТРИСОВКИ РАДИОЛОКАТОРА

Радиолокация — область науки и техники, объединяющая методы и средства локации [1]. Доклад посвящен разработке имитатора, важнейшая часть которого – отображение самого радиолокатора и видимых целей на нем.

Сам имитатор должен производить считывание тактической обстановки из файла и анализировать ее имитированное «сканирование» радиолучом, формирование отметок целей, их отображение на круговом индикаторе и HD-диаграмме (диаграмме «высота-дальность»).

Рассмотрим алгоритм работы программы. Первым шагом производится ввод начальных данных, инициализация переменных. Затем происходит считывание из файла и его обработка. Из строк считанного файла формируется текущая целевая обстановка. Далее происходит преобразование координат целей из прямоугольной системы в сферическую. На следующем этапе мы проводим анализ целевой обстановки, принимаем решение о том, какие цели находятся в области видимости имитатора. Далее вносим погрешность в координаты видимых целей и производим отображение отметок целей на круговом индикаторе (радаре) и HD-диаграмме.

Программа разработана в среде программирования LabVIEW [2] и состоит из блок-диаграммы и лицевой панели. Блок-диаграмма Radar_plot состоит из четырех последовательных блоков:

Блок № 1 для отрисовки черного квадрата. Используется для фона изображения индикатора.

Блок № 2 отрисовывает окружности сетки радара на фон.

Блок № 3 отрисовывает радиальные линии сетки на фон. При этом фон может отрисовываться в этих трех блоках и подаваться на отдельный выход либо фон может использоваться из внешнего источника. Это сделано для того, чтобы не перерисовывать фон заново на каждом такте, если индикатор запускается в цикле, а отрисовать его один раз на первом такте, а в последующих использовать уже готовый.

Блок № 4 отображает цели на фон с координатной сеткой. Информация по отображаемым целям поступает в виде двумерного массива.

Литература

1. Белоцерковский Г.Б. Основы радиолокации и радиолокационные устройства. М.: Советское радио, 1975.
2. Учебный курс LabVIEW. Основы I / П.М. Михеев, С.И. Крылова, В.А. Лукьянченко, Д.С. Урюпина М.: МГУ им М.В. Ломоносова, 2007.

*М.А. Иванкова, студ.; рук. Ю.С. Тверской, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ШАРОВОЙ БАРАБАННОЙ МЕЛЬНИЦЫ В СТРУКТУРЕ ПЫЛЕСИСТЕМЫ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ БУНКЕРОМ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

Развитие принципов обобщенного термодинамического анализа как локальных технологических объектов управления, так и сложных технологий позволяет дать строгое теоретическое обоснование управляемых координат ТОУ в структуре АСУТП и получить общий критерий эффективности системы [1].

Обобщенный термодинамический анализ является одним из подходов, применяемых для исследования энергетических превращений в технических системах. Он основан на использовании термодинамических координат для анализа процессов превращения энергии [1].

В системе рассмотрены следующие виды работ, совершаемых в системе пылеприготовления:

- 1) кинетическая работа перемещения;
- 2) кинетическая работа вращения;
- 3) работа гравитационных сил;
- 4) гидродинамическая работа;
- 5) термическая работа.

Обобщенными потенциалами являются расчетно-конструктивные показатели ШБМ.

Всего получено 10 обобщенных работ. Таким образом, некоторые параметры ШБМ можно представить в виде обобщенных зарядов (комплексированных сигналов).

Но для реализации АСР подачи топлива в ШБМ использован только один: кинетическая работа перемещения мельничного продукта.

Обобщенные заряды по своему параметрическому составу, а следовательно, и численному значению отличаются от сигналов, используемых в системе автоматического регулирования подачи топлива в ШБМ, и « типовые » сигналы не отражают в полной мере свойства процесса, а обосновываются только необходимостью поддержания материального баланса.

Литература

1. **Теория** и технология систем управления. Многофункциональные АСУТП тепловых электростанций. В 3-х кн. Кн. 2. Проектирование / под общей ред. Ю.С. Тверского. Иваново: Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина. 2013. 436 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРЕЦИЗИОННЫХ КВАЗИИТЕРАЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СЛЕДЯЩИХ СИСТЕМ

В настоящее время следящие системы получили очень широкое распространение. Их динамические свойства оказывают существенное, а иногда и решающее влияние на успешное выполнение задачи управления [1]. Таким образом, крайне актуальной является задача разработки высокоточных электромеханических следящих систем управления.

В этих условиях для повышения динамической точности воспроизведения случайного задающего воздействия целесообразно применять различные многоканальные электромеханические системы, работающие по принципу «грубого» и «точного» управления и объединенные в классе итерационных многоканальных систем автоматического регулирования. Квазиитерационные многоканальные следящие системы представляют один из подклассов таких систем, в которых каждый последующий канал уточняет, вносит поправку в сигнал, поступающий от предыдущего канала, что позволяет, как правило, получать точность слежения, недостижимую в одноканальных системах управления. Кроме того, на практике использование квазиитерационных систем имеет ряд преимуществ, поскольку они позволяют добиться хороших качественных показателей процесса регулирования при относительно простой реализации.

В то же время предельно возможные показатели работы квазиитерационных систем мало изучены. Также требуется разработка методики анализа рассматриваемого типа систем, учитывающая их структурные особенности [2]. Таким образом, можно заключить, что изучение структурных и динамических свойств квазиитерационных систем имеет большое практическое и теоретическое значение.

Исследование заключается в разработке методов структурного анализа и синтеза прецизионных электромеханических следящих систем как в линейном, так и в нелинейном представлении. Результаты исследований будут использованы для дальнейшей идентификации нелинейностей в системе, что позволит значительно увеличить эффективность ее функционирования.

Литература

1. **Бесекерский В.А.** Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1966.
2. **Вавилов А.А.** Частотные методы расчета нелинейных систем. М.: Высшая школа, 1977.

МОНИТОРИНГ ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛЮЧЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Для того чтобы принимать правильные управленческие решения и строить эффективный бизнес на производственном предприятии, современный руководитель должен обладать точной информацией об эффективности работы и использования оборудования. Действующая сегодня система управления производством построена на информации, полученной с помощью «журнальных» методов и подвержена серьезному влиянию человеческого фактора. Таким образом, необходимо автоматизировать процесс сбора и обработки данных. Эту задачу могут выполнить системы мониторинга и контроля производства. Одной из перспективных систем является смоленский программно-аппаратный комплекс АИС «Диспетчер».

Система предоставляет возможность осуществлять удаленный мониторинг работы оборудования по локальной сети предприятия и посредством сети Интернет. В системе АИС «Диспетчер» введен в эксплуатацию модуль ПО, позволяющий на основании данных с оборудования строить таблицы и диаграммы за определенный период, а также рассчитывать ключевые показатели, позволяющие судить об эффективности работы оборудования.

Предлагается для оценки эффективности использовать три группы ключевых показателей:

- для общей оценки работы оборудования;
- для оценки работы цеховых и заводских служб, отвечающих за работу оборудования;
- для оценки работы станочников (операторов), непосредственно работающих на станках.

Ключевые показатели используются для решения двух главных задач:

- контроля производства в реальном времени и принятия оперативных решений;
- анализа работы оборудования и персонала за период и принятия тактических или стратегических управленческих решений.

Для правильного определения показателей рассмотрена классификация рабочего времени промышленного предприятия. Определены основные группы причин простоя оборудования.

Разработанный модуль ПО «Динамическая аналитика» позволяет автоматизировать расчеты ключевых показателей и представить информацию об эффективности работы оборудования в удобном для пользователей системы виде.

Е.Д. Козлова, студ.; рук-ли А.Н. Никоноров, к.т.н., доц.;
Ю.С. Тверской, д.т.н., проф. (ИГЭУ, г Иваново)

ОБОБЩЕННЫЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Перспективным вариантом развития структуры электроэнергетического комплекса РФ является строительство ветроэлектростанций (ВЭС), которые при полном отсутствии топливных расходов могут обеспечивать электричеством любые регионы страны, а автономность их работы резко сокращает вероятность возникновения отказов оборудования и аварийных ситуаций, вызванных некорректными действиями обслуживающего персонала.

Для эффективной работы ВЭС технология АСУТП требует проведения тщательной процедуры определения ее информационной подсистемы. Обобщенный термодинамический анализ (ОТДА) [1] позволяет выделять значимые и незначимые информационные сигналы системы.

Исследование заключается в проведении процедуры обобщенного термодинамического анализа ветроэнергетической установки (ВЭУ).

Таблица 1

Пример классификации работ для ветроустановки

Вид работы	Работа			Потенциал		Координата	
	Формула работы	Обозн.	Разм.	X_i	Разм.	x_i	Разм.
Работа по перемещению потока воздушных масс	$dA_1 = V \cdot v \cdot d(\rho \cdot v)$	dA_1	Дж	V/S	м	$\rho \cdot v^2 \cdot S$	Н

На основе ОТДА ВЭУ впервые доказана корректность построения типовых схем регулирования ВЭУ, а единственным неучтенным в них сигналом выступает сигнал по давлению воздушных масс на лопасти ветроколеса, представляющий комплексный параметр, объединяющий в себе информацию о скорости движения потока воздушных масс и о его плотности.

Полученные результаты могут быть использованы для создания математической и имитационной модели ВЭУ и решения задач функционального проектирования АСУТП, в том числе разработки нового структурного решения управления ВЭУ.

Литература

1. **Теория** и технология систем управления. Многофункциональные АСУТП тепловых электростанций. В 3 кн. / под ред. Ю.С. Тверского. Иваново, 2013. Кн. 1. – 260 с. – Кн. 2. – 436 с. – Кн. 3. – 176 с.

ПРОФИЛЬ НАГРУЗКИ КАК ИСТОЧНИК ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СОБЫТИЯХ В СИСТЕМЕ

Важной проблемой при оптимизации работы систем электроснабжения является выявление неэффективной работы оборудования, несанкционированных воздействий на систему, учет различного вида потерь как технического характера, так и коммерческого.

Для решения этой задачи необходимы источники информации и методы анализа полученных измерительных данных.

Современные средства измерения (например, «умные счетчики») позволяют получить необходимую технологическую информацию в достаточно большом объеме. Для электросчетчиков это значения напряжений, токов, активной и реактивной мощностей, гармонические составляющие, углы коэффициентов мощности и многое другое [1].

Основная форма представления результатов обработки первичных данных по потреблению электроэнергии называется «профилем нагрузки», который формируется и хранится на сервере информационно-вычислительного комплекса (уровень ИВК) автоматизированной информационно-измерительной системы контроля и учета электроэнергии (АИИС КУЭ). Обычный интервал дискретизации хранимых в течение трех лет данных составляет 30 минут.

Анализ данных предложено проводить по следующему алгоритму:

- 1) выделение событий из профиля нагрузки по характерным признакам и разбиение всей информации на кластеры событий;
- 2) вторичное тестирование первичного разбиения на кластеры на основе имеющихся измерений электрических параметров сети (валидационный анализ);
- 3) анализ полученного кластерного поля и отсеивание не критичной информации;
- 4) создание математической модели, описывающей типовой событийный процесс [2];
- 5) прогнозирование критичной событийной информации [2].

В докладе будут подробно рассмотрены возможные характерные признаки системы и метод кластерного анализа для данной задачи.

Литература

1. **Лифанов Е.И.** Учет и повышение наблюдаемости подстанций 6—10кВ // Измерение.ru. 2015.
2. **Bozkaya M.** Process diagnostics: a method based on process mining // eKNOW'09. 2009.

КЛАССИФИКАЦИЯ НАРУШЕНИЙ В РАБОТЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПО ИНФОРМАЦИОННЫМ ПРИЗНАКАМ

При эксплуатации кабельных линий проводятся периодические или по прецеденту измерения электрических параметров (профилактические, контрольные и аварийные). Ставится задача определить текущее состояние объекта диагностики посредством отнесения его на основе выбранного критерия и устанавливаемых признаков к тому или иному классу возможных состояний [1].

К измеряемым параметрам относят: сопротивление, индуктивность, емкость, проводимость изоляции, волновое сопротивление и др. Под параметрами аварийного режима понимают составляющие или комбинации токов и напряжений промышленной частоты, которые могут быть использованы для анализа [2].

В докладе анализируются различные виды повреждения и их последствия, анализ которых является источником диагностической информации. Например, в трехфазных электроустановках возникают различные типы межфазных коротких замыканий (КЗ), а в трехфазных сетях с заземленными нейтральными дополнительно могут возникать одно- и двухфазные КЗ на землю. При трехфазном КЗ все фазы электрической сети оказываются в одинаковых условиях. При других видах КЗ фазы сети находятся в разных условиях, в связи с чем векторные диаграммы токов и напряжений имеют искажения. Для каждого вида повреждения требуется установить типовые признаки определенного повреждения.

В качестве имитационной модели для целей тестирования разрабатываемой методики используется модель типа «Генератор — Трансформатор — Линия — Шины». Математическое описание синхронного генератора заложено в форме полных уравнений Парка—Горева, что позволяет наиболее точно отобразить переходные процессы при имитации повреждений, включая тяжелые повреждения типа «короткое замыкание».

Литература

1. Шестопалов М.Ю., Пошехонов Л.Б. Кластеризация диагностического пространства систем управления для системных неисправностей с использованием моделей топологического ранга // Всерос. науч. конф. по проблемам управления в технических системах. 2015. № 1. С. 68—75.
2. Автоматизированные методы и средства определения мест повреждения линий электропередачи: учебное пособие / О.Г. Гриб, А.А. Светелик, Г.А. Сендерович, Д.Н. Калужный; под общ. ред. О.Г. Гриба. Харьков: ХГАГХ, 2003.

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА АДАПТИВНОГО МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОМЕРНЫМИ ОБЪЕКТАМИ В СРЕДЕ MATLAB/SIMULINK

При исследовании систем автоматического управления важным вопросом является обеспечение качественного управления объектами при воздействии помех [1]. На практике уже разработано множество способов решения этих задач, использующих известное математическое описание объектов управления, доступных измерению сигналов внутри объекта и допускающих включение дополнительных (корректирующих) устройств внутрь системы, что в ряде случаев является ограничением применимости этих способов управления. Для преодоления этих ограничений используется управление с идентификатором или по модели, построенной в результате идентификации. Процедура идентификации динамических объектов (систем) связана с достаточно большим объемом математических вычислений, требующих реализации на компьютере [2].

При рассмотрении подходов и методов исследования адаптивного модального управления многомерными объектами с идентификаторами получены следующие результаты:

- проведена классификация адаптивных систем управления многомерными объектами с идентификаторами;
- обоснованы факторы-предпосылки использования адаптивного подхода управления многомерными объектами с идентификаторами;
- представлен многомерный объект управления в задачах адаптивного управления.

При реализации адаптивного модального метода синтеза адаптивных систем в среде Matlab/Simulink на примере работы блока идентификации при помехах по полученным результатам моделирования отмечено, что сохранение устойчивости и уровня сигналов на выходе объекта, достаточно плавные процессы при 5—20 %-ном отклонении параметров от первоначально заданных значений [3].

Литература

1. Кузовков Н. Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. М.: Машиностроение, 1976.
2. Толчеев В.О., Ягодкина Т.В. Методы идентификации одномерных линейных динамических систем. М.: Изд-во МЭИ, 1997.
3. Ву Ань Хиен, Ягодкина Т.В. Синтез инвариантной системы адаптивного модального управления на базе следящей системы // *Фундаментальные исследования*. ИД «Академия Естествознания». 2016. № 6 (часть 1). С. 52—57.

ОДИН ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ДВУХУРОВНЕВОЙ НЕЧЕТКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Для многих систем автоматического управления характерно изменение параметров объекта во времени, и в процессе функционирования первоначальные настройки регулятора перестают обеспечивать требуемые показатели качества системы. Это обстоятельство привело к бурному развитию адаптивных систем автоматического управления (АдСУ), в которых помимо основного (исполнительного) контура присутствует также супервизорный контур, осуществляющий подстройку параметров регулятора при изменении условий функционирования системы. К настоящему времени предложено большое количество вариантов построения АдСУ. Развитие технологий мягких вычислений обусловило дальнейший рост многообразия структур АдСУ. Как на исполнительном, так и на супервизорном уровнях могут использоваться «классические», нечеткие, нейросетевые и пр. алгоритмы.

В данной работе предложена и обоснована структура системы с нечетким логическим регулятором (НЛР) на исполнительном уровне и нечетким супервизором (НСв), выполняющим функции адаптации. НЛР построен на основе реляционных моделей [1, 2] по методике, описанной в [3]. Для первоначальной настройки используются такие показатели качества, как время регулирования и максимальное перерегулирование; для подстройки в процессе функционирования – усредненный за некоторый временной интервал квадрат ошибки.

Отличительной особенностью предлагаемого решения является то, что алгоритм работы супервизора основан на предварительных комплексных исследованиях НЛР как нелинейного динамического элемента системы автоматического управления [4]. Это позволило сделать целенаправленным поиск настроек НЛР, обеспечивающих заданное качество управления.

Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-01-00054а).

Литература

1. **Pedrycz W.** Fuzzy Control and Fuzzy Systems. New York: John Wiley and Sons, 1993.
2. **Анисимов Д.Н.** Нечеткие алгоритмы управления: учебное пособие. М.: Издательство МЭИ, 2004.
3. **Анисимов Д.Н., Ситников К.Ю.** Методика построения нечетких реляционных систем автоматического управления // Вестник МЭИ. 2012. № 3. С. 77—82.
4. **Анисимов Д.Н., Дроздова Е.Д., Новиков В.Н.** Исследование свойств нечеткого аппроксимирующего ПД-регулятора // Мехатроника, автоматизация, управление. 2015. Т. 16. № 4. С. 254—261.

*Е.В. Найдёнов, асп.; рук-ли Л.Л. Лямец, к.т.н., доц.;
И.В. Якименко, д.т.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

РАЗРАБОТКА СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

В настоящее время в большинстве доступных литературных источников и нормативных документов даются различные определения понятия «производственный процесс» (ПП), которые в большей мере ориентированы на конкретные производственные задачи. При этом важной проблемой является отсутствие достаточного описания различного рода преобразований в рамках ПП, а также доступных программных продуктов для изучения и классификации разновидностей ПП. Решение практической задачи оптимизации и автоматизации ПП требует проведения экспликации этого понятия. Результатом экспликации является формальное описание с использованием адекватных математических конструкций.

В работе предлагается подход к описанию ПП с позиции преобразования материи, энергии и информации. Известны способы описания поведения ПП на основе нейросетевых моделей. Рассматриваемый в работе подход позволяет разработать сетевую модель значительно более сложной архитектуры, обобщающей и расширяющей нейросетевые зависимости между компонентами не только с позиции преобразования входной информации, материи и энергии, а также описывающей поведение всех возможных изменений в рамках ПП не только в координатах времени, но и пространства. Весь комплекс задач ПП решают входящие в него технологические процессы (ТП). Введено понятие элементарного и сложного ТП. Описано поведение ТП с позиции составляющих его преобразований информации, энергии и материи. Рассмотрены принципы управления ПП и способы формирования математических конструкций и иных форм описания данных, достаточных для отражения происходящих изменений в сетевой модели во времени и в пределах заданного пространства.

В работе рассмотрены особенности разработки сетевой модели ПП, позволяющей решать вопросы описания поведения внутренних преобразований всех типов данных во времени и пространстве, а также спрогнозировать состав основного и всех промежуточных продуктов.

Литература

1. **Найдёнов Е.В.** Способы управления специализированными техническими системами // Электромагнитные волны и электронные системы. 2016. Т. 21, № 4. С. 58—67.

2. **Лямец Л.Л.** Подход к представлению объектов на основе системы n -местных отношений в задачах распознавания сложной реальности // Научное обозрение. 2015. № 2. С. 105—108.

Д.Ю. Попова, асп.; рук. В.В. Борисов, д.т.н., проф.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)

ВЛИЯНИЕ НОРМИРОВАНИЯ ДАННЫХ НА РЕЗУЛЬТАТЫ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Высокая стоимость, трудоемкость и время, которое тратится на разработку новых центробежных машин, их экспериментальную проверку и доводку, определяют необходимость разработки точных методов расчета и моделирования процессов преобразования энергии в компрессорах. А ограниченные возможности экспериментального исследования делают актуальной разработку способов их нейросетевого моделирования.

В ходе работы поставлена задача создать модель, рассчитывающую энергетические характеристики ступени центробежного компрессора в виде зависимостей $f(\Phi, M_u, G)$ от условного коэффициента расхода, условного числа Маха и совокупности параметров, описывающих геометрию проточной части (обозначены как G).

Одним из способов улучшить обучение сети за счет работы с исходными данными является нормировка данных — размерности всех входных данных сводятся к одному порядку.

На пять входов сети подавались значения параметров, находящиеся в диапазоне от 0 до 100. Остальные 27 параметров изменялись в диапазоне от 0 до 1. После нормировки на все входы сети подаются значения от 0 до 1.

Сравним результаты моделирования КПД на нормированной и ненормированной выборке. Обе модели — это двухслойная нейронная сеть, реализующая зависимость вида $f(\Phi, M_u, G)$, где Φ — условный коэффициент расхода, M_u — число Маха и G — совокупность геометрических параметров.

Средняя ошибка политропного КПД $\eta = f(\Phi, M_u, G)$ по всем 567 входным векторам ненормированной обучающей выборки составила 3,6 %. Если не учитывать крайние по расходу точки, то среднее отклонение расчетных значений КПД составляет 2,15 %.

Для нормированных данных средняя ошибка составила 2,8 %. Если не учитывать точки с максимальными расходами, то среднее отклонение составляет 1,2 %.

В рабочей области компрессора модели на основе нейронных сетей аппроксимируют введенные данные с высокой точностью [1]. Можно отметить, что при нормировании данных нейронная сеть точнее отслеживает форму зависимости и данные испытаний при минимальных расходах.

Литература

1. Никифоров А.Г., Попова Д.Ю., Солдатов К.В. Нейросетевые модели политропного КПД и коэффициента напора промежуточной ступени центробежного компрессора // Компрессорная техника и пневматика. 2015. № 6.

*А.Д. Пронин, асп.; В.А. Короленкова, студ.;
рук. О.С. Колосов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕТЧАТКИ ГЛАЗА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ДИАГНОСТИКИ МЕТОДАМИ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Активное развитие систем диагностики развивающихся неисправностей (патологий) в работающих системах методами искусственного интеллекта [1] вызывает необходимость в поиске дополнительных признаков для целей диагностики. В [2] подробно рассматривался вопрос оценки частотных свойств сетчатки глаза как диагностируемого объекта, при обработке ее реакции в виде биопотенциала на действие периодических световых импульсов стандартных частот (8,3; 10; 12; 24; 30 Гц). Получающиеся семейства амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) свидетельствуют о нелинейном характере изменений частотных свойств сетчатки в зависимости от изменения частоты подаваемых световых импульсов. Кроме этого, сам характер АЧХ сетчатки для фиксированной частоты подаваемых световых импульсов также носит нелинейный характер. Указанные факторы приводят к необходимости поиска путей формализации получаемых АЧХ для использования их в системах диагностики.

В докладе рассматривается возможность использования методов регрессионного анализа для полиномиальной аппроксимации рассматриваемых АЧХ. Показывается целесообразность аппроксимации АЧХ отдельно для двух участков частот: от 0 до 50 Гц и от 50 до 120 Гц. Низкочастотный участок целесообразно аппроксимировать полиномом второго порядка, а высокочастотный участок – полиномом первого порядка. Получающаяся совокупность из пяти меняющихся коэффициентов аппроксимирующих полиномов в зависимости от частоты вспышек и от видов патологий открывает возможность использования их в диагностических системах.

Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-01-00054а).

Литература

1. **Колосов О.С., Анисимов Д.Н., Хрипков Д.В.** Формирование структуры и состава многоуровневых нечетких диагностических систем с использованием статистической модели. // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016. Т.17. № 6. С. 375—383.
2. **Оценка частотных свойств динамического объекта импульсной последовательностью фиксированной частоты** / О.С. Колосов, А.П. Еремеев, А.Д. Пронин и др. // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: Сборник трудов XXV Международной научно-технической конференции, 14—20 сентября 2015 г., Алушта. М.: Технология, 2016. С. 55.

М.А. Расулзода, студ.; рук. В.М. Беседин д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕСТИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА

В связи с быстрым развитием технологий остаются проблемы в эффективности разработки новых программных продуктов в некоторых сферах производства. Одна из таких сфер — это оборудование для промышленности, такие как контроллеры, программируемые реле, измерители-регуляторы температуры и т.д. Для улучшения качества программных продуктов и сокращения времени тестирования, как правило, автоматизируют те процессы, которые возможны. Но методов автоматизации тестирования (АТ) в сфере производства оборудования для промышленности крайне мало. Поэтому существует необходимость в разработке методов АТ, но из-за особенностей оборудования каждого производителя не существует возможности создать универсальный метод АТ.

Данная работа представляет собой пример автоматизации тестирования, который основывается на использовании программируемого логического контроллера (ПЛК). Используя стандартные методы АТ, описанные в [2], была создана система для тестирования программируемых реле (ПР). В качестве ПЛК был взят ПЛК-110-32, а в качестве тестируемого ПР был взят ПР200-24.

В ходе исследования по первичным оценкам было выявлено, что эффективность применения АТ сократило время тестирования на 30 %, а способность улучшить и поддерживать программный продукт для оборудования увеличилась. Но при этом также были недостатки, такие как чувствительность системы АТ к изменениям в логике программы, что приводит к дополнительным изменениям в алгоритме работы автоматического тестирования. Но недостатки системы перекрываются ее эффективностью в общем процессе разработки.

Данная система АТ может быть распространена на другие виды промышленного оборудования с учетом их особенностей.

Литература

1. **Криспин Л., Грегори Дж.** Гибкое тестирование. Практическое руководство для тестировщиков ПО и гибких команд. М.: Издательский дом «Вильямс», 2010.
2. **Винниченко И.В.** Автоматизация процессов тестирования. СПб.: Питер, 2005.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ МОДУЛИРУЮЩИХ ФУНКЦИЙ

Идентификация объектов является одним из важных этапов при синтезе систем автоматического управления. К настоящему времени предложено достаточно большое количество методов идентификации, каждый из которых обладает своими достоинствами и недостатками. Эффективность использования того или иного метода обусловлена условиями функционирования объекта, требованиями к точности оценивания, быстродействию и т.п. В частности, рассматриваемый в данной работе метод модулирующих функций (ММФ) обладает высокой помехоустойчивостью и инвариантностью по отношению к ненулевым начальным условиям.

В качестве модулирующих функций (МФ) наиболее часто используются полиномиальные [1], гармонические [2], гауссовские функции и функции Пуассона [3]. Как было показано в [4], статистические свойства оценок параметров неодинаковы для различных МФ, причем наилучшие результаты дают функции Пуассона. Было высказано предположение, что это связано с тем, что максимум функций Пуассона смещен к началу времени наблюдения. Эта гипотеза косвенно подтверждается тем, что родственный метод экспоненциальной модуляции (МЭМ) [5] с МФ, имеющей максимум в самом начале наблюдаемого участка, при скачкообразном входном воздействии обеспечивает лучшие оценки по сравнению с ММФ.

В данной работе предлагаются модулирующие функции, которые, с одной стороны, сохраняют работоспособность метода при ненулевых начальных условиях, с другой стороны, дают лучшие оценки, чем ММФ с функциями Пуассона.

Литература

1. **Loeb J. Cahen G.** More about process identification // *IEEE.Trans. Automatic Control*. 1965. AC-10. No 3. P. 359—361.
2. **Shinbrot M.** On the analysis of linear and nonlinear systems // *Trans. ASME*. 1957. Vol. 79. No. 3. P. 547—542.
3. **Saha D.C. and Rao G. P.** Identification of lumped linear systems in the presence of unknown initial conditions via Poisson moment functional // *Int. Journal of Control*. 1980. Vol. 31. No. 4. P. 637—644.
4. **Анисимов Д.Н.** Сравнительный анализ интегрально-модуляционных методов идентификации линейных динамических объектов // *Вестник МЭИ*. 2015. № 2. С. 108—113.
5. **Анисимов Д.Н., Хрипков А.В.** Законы распределения оценок параметров объектов при идентификации методом экспоненциальной модуляции // *Проблемы управления*. 2007. № 4. С. 14—18.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НАГРУЗКОЙ ПРЯМОТОЧНОГО КОТЛА

Актуальной задачей современной энергетики является повышение надежности, экономичности и маневренности оборудования. Испытания на реальном оборудовании довольно сложны и опасны, так как нарушают нормальные режимы работы оборудования, что может привести к серьезным авариям, поэтому актуальным и целесообразным является использование специализированных тренажерных комплексов.

Этап регулирования подачи топлива является ответственным этапом в регулировании котельной установки, так как именно здесь определяется дальнейшая надежность и экономичность работы ТЭС в целом.

В ходе исследований была разработана САУ нагрузкой прямоточного котла ТГМП 314-П на базе тренажерного комплекса блока 250 МВт ТЭЦ-25 ОАО «Мосэнерго» [1]. В рамках работы рассматривались автоматические системы регулирования подачи топлива к котлу в режимах: регулирования топлива по давлению или расходу и регулирования топлива по электрической нагрузке энергоблока [2].

Было разработано техническое задание на САУ нагрузкой прямоточного котла, проведены алгоритмический и параметрический синтезы с идеальными и реальными регуляторами, оценены оптимальные параметры настройки регулятора [3].

Разработанная САУ учитывает возможность переключения с режима регулирования расхода на резервный режим регулирования давления газа, а также учитывает перекос расхода топлива по сторонам котла.

В дальнейшем планируется использовать возможности тренажерного комплекса для разработки полноценной АСУТП нагрузки прямоточного котла.

Литература

1. **Инструкция** по эксплуатации автоматических регуляторов энергоблока №5. Москва, 2011. 171 с.
2. **Теория** и технология систем управления. Многофункциональные АСУТП тепловых электростанций. В 3-х кн. Кн. 3. Моделирование / под общей ред. Ю.С. Тверского. Иваново: Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина, 2013. 208 с.
3. **Управление** и информатика в технических системах: Выпускная квалификационная работа: учебное пособие / под ред. Ю.С. Тверского. Иваново: Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина, 2008. 147 с.

ПРОГРАММА ВЫДЕЛЕНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ НА СТАТИЧНОМ ФОНЕ МЕТОДОМ СМЕСИ ГАУССИАН

В современном мире человек постоянно находится под напором постоянно меняющегося потока информации, исходящей из огромного количества разнообразных источников. Значительную роль в процессе контроля этой информации играют системы ее мониторинга и анализа. Одним из наиболее емких каналов поступления информации являются видеоданные, многообразная природа которых делает их учет и анализ сложной задачей, требующей комплексного аналитического подхода [1].

Системы анализа видеопотока находят свое применение во множестве сфер общественной жизни, таких, например, как системы безопасности дорожного движения, охраны правопорядка, управления различными техническими процессами или же в сфере развлечений. Для осуществления подобного анализа необходимо провести выделение данных, представляющих непосредственный интерес, из общего потока поступающей информации. Одним из таких способов разделения данных является алгоритм выделения движущихся объектов.

Основными требованиями, предъявляемыми к подобным алгоритмам, являются:

- малое время обработки сигнала;
- устойчивость к шумам видеосигнала;
- возможность адаптации к изменяющимся условиям освещения;
- адаптация к появлению новых неподвижных объектов кадре.

Предложенный алгоритм предназначен для обнаружения и анализа жестов кисти руки человека, находящейся в поле зрения системы технического зрения. В основе алгоритма лежит процесс отделения фона от движущихся объектов, реализованный с помощью метода адаптивной модели смеси гауссовских распределений [2].

Программа для выделения движущихся объектов методом смеси гауссиан обеспечивает достаточную точность и скорость выделения данных в видеопотоке, обеспечивает нужный функционал и может найти применение в системах контроля дорожного трафика, охранных системах, а также средствах интерактивного управления.

Литература

1. **Мощные** ультрафиолетовые излучающие диоды / Н.А. Гальчина, Л.М. Коган, А.А. Колесников и др. // Светотехника. 2010. № 3. С. 35—40.
2. **Источник** света с высокой яркостью излучения на длине волны 13,5 нм / В.М. Борисов, К.Н. Кошелев, А.В. Прокофьев и др. // Квантовая электроника. 2014. Т. 44. № 11. С. 1077—1082.

О.Д. Титова, студ.; рук. Д.Н. Анисимов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ДИАГНОСТИКИ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ СЛОЖНОГО ОБЪЕКТА

Классическим примером сложного объекта является человек и различные системы человеческого организма. Для них характерно отсутствие достаточно полного математического описания, ограниченное число регистрируемых координат, большая размерность. Задачи классификации для объектов такого типа называются задачами медицинской диагностики и определяются конечным числом исходов при высокой степени пересечения областей признаков [1]. В них стандартные методы классификации являются недостаточно эффективными, поэтому встает задача модификации классического алгоритма для улучшения качества решения.

В докладе рассматривается задача диагностики патологий сетчатки по характерным точкам электроретинограммы (ЭРГ) в ответ на воздействие одиночного светового импульса или последовательности импульсов [2]. На базе ЭРГ, полученных специалистами НИИ ГБ им. Гельмгольца, создается признаковое описание сетчатки. Полученные признаки и их сочетания на основе экспертных данных проверяются на информативность и отбираются для обучения классификатора. Далее необходимо решить исходную задачу классификации [3], т.е. построить алгоритм, способный отнести текущее состояние сетчатки к одному из заранее определенных классов. Суть модификации алгоритма заключается в том, что задача классификации решается $(m-1)$ раз, где m — количество патологий. На каждом шаге решается задача бинарной классификации, т.е. отнесения объекта к одному из двух классов, где один обладает набором характерных признаков, а другой — нет. На следующий шаг решения переходят только в том случае, если на предыдущем объект не был классифицирован.

Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-01-00054а).

Литература

1. **Использование** подстраиваемой динамической модели сетчатки глаза в компонентном анализе для диагностики патологий методами искусственного интеллекта / Д.Н. Анисимов, Д.В. Вершинин, О.С. Колосов и др. // Вестник МЭИ. 2008. № 5. С. 70—74.
2. **ISCEV Standard for full-field clinical electroretinography (2008 update)** / M.F. Marmor, A.B. Fulton, G.E. Holder et al. // Doc Ophthalmol. 2009. Vol. 118. P. 69—77
3. **Hastie T., Tibshirani R., Friedman J.** The Elements of Statistical Learning, Springer, 2001.

А.В. Федоренко, студ.; рук. Д.В. Вершинин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБРАБОТКА СИГНАЛА РЕАКЦИИ СЕТЧАТКИ ГЛАЗА ПРИ НАБЛЮДЕНИИ «ЧЕРЕДУЮЩЕГОСЯ ШАХМАТНОГО ПОЛЯ» ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ДИАГНОСТИКИ

Разработка систем диагностики развивающихся неисправностей в работающих системах является одной из важнейших задач для объектов различной природы. Наибольшую сложность и интерес представляют биологические объекты и, в частности, различные системы человеческого организма. Построение систем компьютерной диагностики здесь развивается наиболее стремительными темпами. Построение подобных систем сопровождается поиском различных и формализуемых признаков, прямо или косвенно характеризующих те или иные патологии. Как правило, только совокупное рассмотрение подобных признаков позволяет с некоторой степенью достоверности характеризовать состояние исследуемой системы организма. При построении подобных систем диагностики эффективными оказываются методы мягких вычислений [1].

В докладе для подобной многоуровневой системы диагностики патологий сетчатки глаза рассматривается возможность использования в качестве дополнительного признака результаты обработки сигнала (биопотенциала) реакции сетчатки глаза при наблюдении «чередующегося шахматного поля», который носит название «Pattern ERG». Показывается, что в отличие от ритмических ЭРГ, для которых удастся оценить частотные свойства сетчатки [2], спектр разложения паттерн ЭРГ в ряд Фурье характеризует нелинейные свойства сетчатки, связанные с неидентичностью изменения биопотенциала сетчатки при включении и выключении светового потока [3]. Анализируемые спектры разложения паттерн ЭРГ могут свидетельствовать о состоянии определенных структур сетчатки.

Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-01-00054а).

Литература

1. **Колосов О.С., Анисимов Д.Н., Хрипов Д.В.** Формирование структуры и состава многоуровневых нечетких диагностических систем с использованием статистической модели. // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016. Т.17. № 6. С. 375—383.

2. **Оценка** частотных свойств динамического объекта тестирующим импульсом / Д.А. Баларев, Е.С. Горбикова, О.С. Колосов, А.В. Сахарова // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: Сборник трудов XXV Международной научно-технической конференции, 14—20 сентября 2016 г., Алушта. М.: Технология, 2016. С. 40.

3. **Гранит Р.** Электрофизиологические исследования рецепции. М.: Изд-во иностранной литературы, 1957.

Е.В. Фёдорова, студ.; рук. Д.Н. Анисимов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ ДЕФАЗЗИФИКАЦИИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА

Дефаззификация (приведение к четкости) является одним из этапов нечеткого логического вывода [1]. Как отмечается в [2], суть дефаззификации заключается в нахождении такого четкого значения, которое наиболее «рациональным» образом представляло бы результирующее нечеткое множество. Критерии подобной «рациональности» могут быть различными, и об их количестве можно судить по числу существующих методов дефаззификации. Так, в [3] выделяется 11 методов дефаззификации, разбитых на две группы: методы дефаззификации аккумулятивной на предыдущем этапе выходной переменной и методы дефаззификации выходной переменной без предварительного аккумулятивного активизированных заключений отдельных правил.

В данном исследовании рассматриваются методы первой группы, такие как центр тяжести, центр площади, самый левый максимум, самый правый максимум, средний максимум.

При анализе достоинств и недостатков того или иного метода обычно [2] используют качественные оценки, такие как простота вычислений, чувствительность к изменениям степени активизации заключений базы правил, количество функций принадлежности заключений, участвующих в дефаззификации, ширина интервала дефаззификации, непрерывность и т.п.

В данной работе методы дефаззификации сравниваются между собой с позиций работы нечеткого логического регулятора в системе автоматического управления [4]. Рассмотрены статические, амплитудно-частотные и фазовые частотные характеристики нечетких регуляторов и отмечены особенности влияния методов дефаззификации на эти характеристики.

Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-01-00054а).

Литература

1. **Анисимов Д.Н.** Нечеткие алгоритмы управления: учебное пособие. М.: Издательство МЭИ, 2004.
2. **Пегат А.** Нечеткое моделирование и управление. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009.
3. **Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С.** Нечеткие модели и сети. М.: Горячая линия-Телеком, 2012.
4. **Анисимов Д.Н., Дроздова Е.Д., Новиков В.Н.** Исследование свойств нечеткого аппроксимирующего ПД регулятора // Мехатроника, автоматизация, управление. 2015. Т. 16. № 4. С. 254—261.

С.А. Широкова, студ.; рук. С.А. Хризолитова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСТРОЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ СИСТЕМ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ВЕТВЯМИ

В настоящее время системы автоматического управления находят все большее применение в различных отраслях народного хозяйства, и возникает потребность в создании высокоточных быстродействующих следящих приводов. Наиболее распространенными системами с параллельными ветвями являются итерационных многоканальные САУ, в которых каждый последующий более точный канал работает по результатам ошибки полезного сигнала в предшествующем грубом контуре [1].

Итерационные следящие системы обеспечивают высокое качество управления по критериям времени регулирования, ширины полосы пропускания, добротности и значений ошибок [2].

Для построения ЛАЧХ целесообразно применять метод приближенных амплитудно-частотных характеристик по огибающей, разработанный на кафедре управления и информатики НИУ «МЭИ».

Исследовалась точность метода в зависимости от параметров системы, числа каналов и структуры. В качестве исходных данных была выбрана передаточная функция следующего вида $W = K / p(1 + pT)$. Для анализа точности метода осуществлялось изменение коэффициентов усиления и постоянных времени двухканальных и трехканальных систем и проводилось сравнение на сопрягающих частотах асимптотических ЛАЧХ, построенных приближенным и точным методами.

Была выявлена зависимость величины расхождения методов приближенных амплитудно-частотных характеристик по огибающей и точного построения амплитудно-частотных характеристик в случае двухканальных и трехканальных итерационных следящих систем в зависимости от величины постоянной времени и коэффициента усиления системы.

На основе комплекса проведенных исследований по использованию метода приближенных амплитудно-частотных характеристик для систем с параллельными ветвями сделаны выводы, что основные показатели качества управления совпадают с показателями качества реальных систем, что подтверждает работоспособность приближенного метода.

Литература

1. **Бесекерский В.А.** Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1972.
2. **Ким Д.П.** Теория автоматического управления. Т.1. Линейные системы. М.: Физматлит, 2007.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ОШИБКИ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВ ПРИ ПОМОЩИ МАШИННОГО ПЕРЕВОДА

Современные наиболее ценные и значимые публикации непременно издаются в английском варианте, поскольку, этот язык имеет статус международного. В данной работе исследовалась возможность увеличения точности классификации англоязычных библиографических описаний (БО) научных статей за счет «параллельного» перевода статьи с английского языка на русский с помощью автоматических переводчиков (Google Translate, Яндекс. Переводчик).

Для проведения исследования была проведена разработка программно-алгоритмических средств (ПАС), позволяющих обрабатывать интернет-страницы ряда научных журналов издательства «Springer Science+Business Media», скачивать с них интересующую информацию, проводить операции по сокращению размерности признакового пространства (стемминг) и отсечение стоп-слов, переводить текст статьи на второй язык и проводить дальнейшую классификацию сформированных выборок с помощью профильных методов классификации [1].

Для проведения эксперимента с помощью разработанных ПАС были сформированы по три обучающие и экзаменационные англоязычные и двуязычные выборки. Каждая обучающая выборка состояла из 80 документов, экзаменационная — из 22, разнесенных по 7 классам. Как видно из результатов исследования (табл. 1), использование двуязычных выборок, полученных путем машинного перевода с английского языка на русский, позволяет увеличить точность классификации, более точное прогнозирование можно дать при увеличении экзаменационной выборки.

Таблица 1

Средние ошибки классификации

Метод классификации:	Средняя ошибка классификации, %			
	PO	НМИ	J	UNI6
Английские выборки	18,2	25,5	18,8	15,8
Двуязычные выборки	16,7	21,8	16,1	14,5

Литература

1. Мохов А.С., Толчеев В.О. Разработка методов высокоточной классификации двуязычных текстовых библиографических документов // Информационные технологии. 2014. № 5.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

*Председатель секции — к.т.н., профессор Ю.А. Казанцев
Секретарь секции — к.т.н., зав. каф. ЭФИС С.В. Вишняков*

*А.С. Войцицкая, студ.; рук. В.В. Борисов, д.т.н., проф.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

ИЗМЕРЕНИЕ МАССЫ ЖИДКИХ ВЕЩЕСТВ В РАЗЛИЧНЫХ РЕЗЕРВУАРАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

В настоящее время важной задачей является измерение массы жидких веществ, которые характеризуются различными свойствами, такими как способность разделения на фракции, а также обладают различной вязкостью и плотностью. Получение точных данных нередко играет решающую роль в производственной деятельности, так как недостаточная информация о количестве вещества может привести к нарушению технологического процесса, что может повлечь за собой экономические потери и проблемы при реализации выработанного сырья.

Существуют немногочисленные методы измерения массы жидких веществ вследствие того, что этот процесс является сложным, особенно если необходимо снять показания с большого по размерам резервуара [1].

При измерении количества жидких веществ приходится сталкиваться с множеством проблем, так как вычисление проводится с учетом объема и плотности, а эти параметры существенным образом зависят от температуры и ряда других параметров. Предлагается с помощью гидростатического датчика давления измерять массу, так как при изменяющихся внешних условиях она остается постоянной [2]. А для получения наиболее точных результатов в разрабатываемой информационно-измерительной системе планируется использовать искусственные нейронные сети (ИНС), которые будут обучены в процессе тарировки резервуара. Использование ИНС позволяет адаптировать разрабатываемую информационно-измерительную систему к реальным условиям для измерения массы различных жидких веществ в разных резервуарах.

Работа выполнена в рамках базовой части госзадания Минобрнауки России №2014/123, проект № 2493.

Литература

1. **Патент РФ №2497085**, 27.01.2010 Способ измерения массы жидкости в резервуаре [текст] / Б.В. Скворцов, С.А. Борминский, А.В. Солнцева, Д.И. Блинов. – Оpubл. 27.10.2013. Бюл. № 30.

2. **Войцицкая А.С., Борисов В.В.** Измерение массы жидкостей различных резервуаров с применением искусственных нейронных сетей / XIII Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов: сб. трудов. – Смоленск, 2016. С. 232—235.

И.А. Горинов, асп.; Ю.А. Парменов, к.т.н., проф.
(НИУ «МИЭТ», Москва)

ВСТРАИВАЕМЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ УДАРНЫХ УСКОРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Во многих системах управления объектом применяются системы измерения различных величин. Для построения встраиваемых систем измерения ударных ускорений применяются датчики ударной величины. Датчики на основе консольно-закрепленного пьезоэлектрического биморфа обладают высокой чувствительностью к измеряемому ускорению и значительной эквивалентной емкостью. Однако датчики такого типа имеют и ряд недостатков: низкую вибро- и ударопрочность, сравнительно низкий диапазон рабочих частот [1].

Альтернативой консольно-закрепленному биморфу является предлагаемый датчик с чувствительным элементом (ЧЭ) в виде пьезоэлектрического пленочного столбика — пьезопакета, состоящего из соединенных между собой пьезоэлектрических пленок [2]. При ударном воздействии на датчик такого типа каждый элементарный пьезоэлемент (ПЭ) формирует заряд q , приводя к формированию на ЧЭ суммарного заряда Q , не зависящего от емкости ПЭ, но зависящего от количества пленок в пьезопакете.

Для апробации рассматриваемых датчиков была проведена серия сравнительных измерений коэффициента преобразования консольного ПЭ и пьезопакета с габаритными размерами $(6 \times 6 \times 2,6)$ мм³. Результаты измерения эквивалентной емкости и чувствительности по заряду приведены в табл. 1.

Таблица 1

Тип ПЭ	Электрическая емкость C , нФ	Чувствительность по заряду K_z , мВ/г
Консоль	10,8	190
Пьезопакет	510	60,5

Из таблицы видно, что пьезопакет может стать альтернативой консольному ЧЭ как источнику заряда в датчиках ударных ускорений, если при этом используется усилитель заряда.

Литература

1. Датчик ускорения с усилителем заряда / В.Н. Зинченко, И.А. Горинов и др. Патентная заявка №2016102818 пр. 28.01.2016 г.
2. Способ изготовления монолитных многослойных пьезокерамических элементов-столбиков / А.М. Храмцов и др. Патент RU 2540440.

К.В. Краюшкин, асп.; рук. В.М. Геворкян, к.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ В ЦЕПИ ГЕНЕРАТОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Актуальность задачи мониторинга состояния изоляции высоковольтной обмотки измерительных трансформаторов напряжения (ТН) в цепи генераторного напряжения электрических станций (ЭС) в режиме реального времени определяется серьезными последствиями, вызываемыми отказом их работы. Нарушение функционирования ТН в основном связаны [1] с коротким замыканием (КЗ) высоковольтной обмотки (вызванным процессами временной деградации [2]), что, в лучшем случае, может привести к отключению турбогенератора ЭС и соответственно недопоставке электроэнергии, а в ином варианте – к аварии на турбогенераторе и, как минимум, возникающими экономическими потерями.

В реальных условиях несколько однотипных ТН (до 12 шт.) компактно подключаются к каждому фазному проводу. Алгоритм мониторинга, таким образом, заключается в измерении в режиме реального времени токов в первичных высоковольтных обмотках ТН (**напряжения на вторичных обмотках не подвержены влиянию КЗ**) и сравнении полученных значений (анализе динамики их изменения), что позволяет выявить тот из ТН, который потенциально представляет опасность, в том числе и по состоянию изоляции высоковольтной обмотки. Этот подход исключает влияние на измеряемые характеристики нестабильностей фазных напряжений ЭС, погодных и пр. процессов, предполагаемо влияющих одинаково на все ТН в одной фазе.

Результаты моделирования в среде OrCAD (Pspice), а также на реальном макете, состоящем из двух высоковольтных трансформаторов, подтверждают правильность подхода реализации системы мониторинга вообще, и выбора индицирующего параметра (тока в первичной обмотке) в частности.

Литература

1. **О повреждениях** трансформаторов напряжения в цепях генераторного напряжения электростанций / В.М. Геворкян, Ю.А. Казанцев, В.А. Старшинов и др. // Электрические станции. 2014. № 1. С. 43—49.
2. **Дымков А.М., Кибель В.М., Тишин Ю.В.** Трансформаторы напряжения М.: Энергия, 1975. 201 с.

ПРИМЕНЕНИЕ КВАДРАТУРНОЙ ДЕМОДУЛЯЦИИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПАРАМЕТРОВ СПЕКТРА И ЧАСТОТЫ

Измерители параметров спектра и частоты применяются во многих областях электроники. Основной функцией их является разложение входного непрерывного сигнала на спектральные составляющие и измерение амплитудных и фазовых значений сигнала в конечном диапазоне частот.

В основе анализаторов спектра лежат методы, основанные на применении банка фильтров, дискретном преобразовании Фурье (ДПФ) или квадратурной демодуляции сигнала (КДС). Разрабатываемое в данной работе СИ основано на методе КДС.

Любой периодический сигнал можно представить формулой $s(t) = a(t) \cos(\omega t + \beta)$, где $a(t)$ — функция изменения амплитуды во времени; ω — круговая частота сигнала; β — начальная фаза. С помощью метода КДС из такого сигнала можно выделить синфазную $I(t)$ и квадратурную $Q(t)$ составляющие, перемножив входной сигнал с опорными сигналами демодулятора известной частоты. Выполняя последующую НЧ фильтрацию

$$I(t) = a(t) \cos((\omega - \omega_r)t),$$

$Q(t) = -a(t) \sin((\omega - \omega_r)t)$, где ω_r — частота опорного сигнала квадратурного демодулятора.

Полученный комплексный сигнал $I(t) + jQ(t)$ позволяет оценить отчет комплексного спектра входного сигнала с частотой ω_r . Для получения значения амплитудного спектра на частоте ω_r достаточно рассчитать модуль комплексного числа $A(\omega_r) = \sqrt{(I(t))^2 + (Q(t))^2}$, а значения фазового спектра — фазу комплексного числа $\varphi(\omega_r) = \text{arctg}(Q(t) / I(t))$.

Так как частота входного сигнала неизвестна, частота опорных сигналов демодулятора ω_r будет отлична от частоты сигнала ω . После завершения переходных процессов значение фазового спектра во времени меняется пропорционально отклонению частоты. По приращению фазы можно определить погрешность задания частоты опорных сигналов $\Delta\omega$. Складывая $\Delta\omega$ и ω_r , может быть найдена частота входного сигнала ω . Снижение погрешности измерения частоты входного сигнала позволяет достичь подстройка частоты опорных сигналов и повторное ее измерение.

Помимо погрешности, вызванной неточностью задания частоты ω_r , основными методическими погрешностями измерителя являются погрешности, вызванные частотными характеристиками фильтров, конечным временем измерения и конечной частотой дискретизации АЦП. Результаты имитационного моделирования показывают, что можно добиться методических погрешностей измерения амплитуды, фазы и частоты сигнала, соответственно не превышающих $\delta_{\text{ампл}} \approx 0,02 \%$; $\delta_{\text{фаз}} \approx 0,009 \%$; $\delta_{\text{част}} \approx 5 \cdot 10^{-5} \%$.

АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ЗОНДИРУЮЩИХ СИГНАЛОВ

В ультразвуковых измерительных приборах, связанных с определением расхода жидкости часто возникает задача измерения времен распространения ультразвуковых сигналов по потоку и против него [1]. При этом погрешность данных измерений не должна превышать сотен или десятков пикосекунд [1, 2]. Это означает, что для непосредственного измерения времени потребуется АЦП, позволяющий проводить отсчеты с частотой не менее 1—10 ГГц, либо счетчик с указанной частотой счета импульсов. Оба отмеченных варианта характеризуются высокой сложностью изготовления и стоимостью данных компонентов, а также значительным энергопотреблением, что может стать критичным для устройств с автономным питанием. Как правило, для определения момента поступления сигнала применяется компаратор [2], а непосредственный подсчет времени проводится с помощью специализированного время-цифрового преобразователя [2], выполненного в виде отдельной микросхемы.

Однако указанный способ определения временных интервалов корректно функционирует лишь при условиях, приближенных к идеальным, что довольно редко осуществимо на практике. Так, получаемые сигналы от ультразвуковых датчиков часто оказываются сильно зашумлены, что приводит к существенным ошибкам при определении момента прихода сигнала по компаратору. Выходом из сложившегося положения может стать применение различных методов цифровой обработки полученных сигналов [2], в частности фильтрации сигналов, методов корреляционной обработки или выделения огибающей сигнала через преобразование Гильберта [2], которые обеспечивают лучшую помехоустойчивость [2]. Но отрицательной стороной применения указанных методов являются их сравнительно высокая сложность реализации и аппаратная ресурсоемкость.

В работе проведено математическое моделирование различных методов определения интервалов времени с целью сравнения реализуемой точности и оценки их эффективности с учетом реальных условий эксплуатации.

Литература

1. **Кремлевский П.П.** Расходомеры и счетчики количества: справочник.— 4-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, 1989.
2. **Ронкин М.В., Хрестина Е.И., Калмыков А.А.** Использование цифровых алгоритмов в задачах обработки ультразвуковых сигналов // Сборник докладов III Всероссийской научно-практической конференции «Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве». Екатеринбург: УрФУ, 2014. Ч. 2. С. 255—259.

А.В. Смагин, асп.; В.С. Ходырева, студ.;
рук. А.А. Лупачев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ЦИФРОВОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ С ГАРАНТИРОВАННОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТЬЮ

Для моделей переходных процессов (ПП) в измерительной цепи (ИЦ), выраженных аperiодическим звеном, существует ряд критериев определения установившегося значения. Стандартизированные критерии, отнесенные к критериям интервального вида (КИВ), например, по ГОСТ 3484.1—88 [1] и ГОСТ 3484.2—88 [2], не отражают связь между временем установления ПП и параметрами звена. Так, при увеличении значения постоянной времени (ПВ) звена увеличивается значение динамической погрешности (ДП) первого рода, которое достигается в момент выполнения условий КИВ.

В работе [3] показана связь между значением ПВ ПП и значением ДП для интервальных критериев определения момента завершения (ОМЗ) ПП. Эта связь выражена значением критической постоянной времени (КПВ) для заданных условий критерия.

Критерии ОМЗ ПП можно классифицировать по следующим признакам: *пороговое значение приращения физической величины (ФВ) на интервале наблюдения (первое условие)* — абсолютное или относительное; *количество непересекающихся интервалов наблюдения (второе условие)* — один интервал наблюдения или более одного интервала наблюдения.

Для достижения работоспособности КИВ во всем возможном интервале значений постоянной времени ИЦ разработан алгоритм *применения* КИВ, который для достижения гарантированной динамической погрешности первого рода использует регулирование следующих параметров критерия ОМЗ ПП:

- 1) длительности интервала наблюдения;
- 2) порогового значения приращения ФВ на этом интервале наблюдения;
- 3) количество интервалов наблюдения.

Литература

1. **ГОСТ 3484.1—88.** Трансформаторы силовые. Методы электромагнитных испытаний. М.: Издательство стандартов, 1989. 41 с.
2. **ГОСТ 3484.2—88.** Трансформаторы силовые. Испытания на нагрев. М.: Издательство стандартов, 1990. 72 с.
3. **Смагин А.В.** Магистерская диссертация. Критерии определения установившегося значения переходного процесса в измерительной цепи. М.: НИУ МЭИ, 2016. 61 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ НА ТРЕУГОЛЬНЫХ СЕТКАХ

Активное развитие сетей связи и вещания влечет за собой постоянный рост объемов информации, что требует поиска более эффективных способов хранения и передачи графических данных. Поэтому задача представления изображений в компактной форме является актуальной.

Особый интерес в области сжатия графических данных представляют алгоритмы триангуляции. На основе изображения строится треугольная сетка, и далее операции проводятся с простейшими полигональными областями, т.е. с каждым из треугольников. Основные плюсы использования треугольной сетки заключаются в том, что любую область можно гарантированно разбить на треугольники и вычислительная сложность этих алгоритмов меньше, чем при использовании каких-либо сложных полигонов. [1]

Способы линейной аппроксимации информации, попадающей в треугольники на одной сетке, многообразны. Для исследования выбраны метод линейной аппроксимации по вершинам треугольника (в качестве коэффициентов функции используются цвета вершин) и линейной аппроксимации методом наименьших квадратов (коэффициенты рассчитываются с условием минимизации СКО в треугольнике). Для оценки потерь качества изображения при его сжатии выбранными методами используется ПОСШ.

Оригинал некоторого изображения, а также результаты его обработки реализованными алгоритмами, представлены на рис. 1.

Исследование работы данных алгоритмов ведет к тому, что метод линейной аппроксимации по вершинам несущественно уступает МНК по ПОСШ, имея при этом меньшую вычислительную сложность, однако метод наименьших квадратов визуально дает гораздо более приближенные к реальным изображения, а также позволяет получить выигрыш по выбранному критерию оценки в случае фотографий с высоким разрешением.



Рис. 1. Оригинал изображения, результат аппроксимации по вершинам, результат МНК

Литература

1. Шишкин Е.В. Компьютерная графика. Полигональные модели. М.: Диалог-МИФИ, 2001.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ЦИФРОВОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ

Силовые трансформаторы являются важнейшим узлом электрических систем и сетей. Одной из актуальных проблем при эксплуатации силовых трансформаторов (СТ) является своевременное обнаружение их дефектов, которые выявляются на основе анализа параметров СТ (например, активного сопротивления обмотки), образующих измерительную цепь (ИЦ).

Известны методы определения параметров ИЦ по отдельным мгновенным значениям переходного процесса в цепи при подаче скачка напряжения постоянного тока. Наибольшее распространение имеют методы косвенного измерения параметров ИЦ через постоянную времени (ПВ) ИЦ [1]. Эти методы используют не менее двух отчетов переходного процесса [2]. Однако отсутствуют оценки погрешностей этих методов измерения ПВ от существенных параметров измерительных алгоритмов.

В работе для анализа предельных погрешностей используется моделирование измерительных алгоритмов [3]. Реализован метод статистического моделирования Монте-Карло. Выбор последнего обусловлен простотой решения задачи по сравнению с аналитическим вариантом, наглядностью получения оценок погрешностей, слабой зависимостью точности моделирования от размерности пространства (числа независимых переменных).

Получены оценки погрешности косвенного измерения постоянной времени ИЦ. Проведено сравнение результатов, полученных методами аналитического и имитационного моделирования, которое показало адекватность используемых моделей. Изучено влияние разрядности АЦП на погрешность измерений. Результатом работы можно считать рекомендации по выбору АЦП и метода измерения постоянной времени измерительной цепи.

Литература

1. **Михеев Г.М.** Цифровая диагностика высоковольтного оборудования. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. 304 с.
2. **Мелентьев В.С.** Аппроксимационные методы измерения параметров линейных электрических цепей // Измерительная техника. 2010. №10. С. 55—59.
3. **Диденко В.И., Тепловодский А.В., Иванов А.В.** Точность моделирования измерительных устройств // Датчики и системы. 2009. № 7.

Секция 19

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА

*Председатели секции — д.т.н., профессор В.П. Лунин,
к.т.н., доцент В.А. Барат
Секретарь секции — аспирант Д.В. Чернов*

*В.К. Авагян, студ. (НИУ «МЭИ»); рук. Е.Г. Базулин,
(НПЦ «ЭХО+», Москва)*

СВОЙСТВА НАБОРОВ ПСЕВДООРТОГОНАЛЬНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

В настоящее время в практике ультразвукового контроля широко применяются дефектоскопы, использующие антенные решетки. Для визуализации внутреннего объема объекта контроля можно воспользоваться технологией цифровой фокусировки антенной (ЦФА) [1,2]. Регистрация эхосигналов в режиме двойного сканирования (аналог метода FMC) требует число тактов излучения, равное числу элементов применяемой антенной решетки. Однако в практике неразрушающего контроля возникают случаи, требующие более высокой скорости регистрации эхосигналов.

Для повышения скорости регистрации эхосигналов антенной решеткой можно применять зондирующие сигналы, сформированные на основе наборов псевдоортогональных сигналов. Каждому элементу антенной решетки приписывается зондирующий импульс из набора кодов. Одновременное излучение всеми элементами антенной решетки позволит зарегистрировать эхосигналы за один такт. Дальнейший результат обработки эхосигналов очень сильно зависит от типа используемого набора кодов. В работе проанализированы свойства таких наборов последовательностей, как коды Касами [3], коды Голея [4] на основе кодов Касами, коды Велти [5], коды Задова—Чу[6], и сделаны рекомендации по их применению по отношению к 16-, 32- и 64-элементным антенным решеткам.

Литература

1. **О применимости** технологии антенных решеток в решении задач ультразвукового контроля опасных производственных объектов / В.А. Воронков, И.В. Воронков, В.Н. Козлов и др. // В мире неразрушающего контроля. 2011. № 1. С. 64—70.
2. **Базулин Е.Г., Вopilкин А.Х., Тихонов Д.С.** Повышение достоверности ультразвукового контроля. Часть 1. Определение типа несплошности при проведении ультразвукового контроля антенными решетками // Контроль. Диагностика. 2015. № 8. С. 7—22.
3. **Kasami T.** Weight Distribution Formula for Some Class of Cyclic Codes // Tech. Report No. R-285, Univ. of Illinois. 1966. April.
4. **Golay M.J.E.** Notes on Digital Coding // Proc. IRE. 1949. 37. P. 657.
5. **Крылова В.В., Стеклова И.В.** Формирование и обработка сложных сигналов с квадратурной манипуляцией кодами Велти // Радиотехника. 1994. №10. С. 61—65.
6. **Chu D.C.** Polyphase codes with good periodic correlation properties // IEEE Trans. Inform. Theory. July 1972. P. 531—532. DOI:10.1109/TIT.1972.1054840.

АЭ КОНТРОЛЬ ВРАЩАЮЩИХСЯ МЕХАНИЗМОВ НА ПРИМЕРЕ РОЛИКОВЫХ ОПОР ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ

Актуальной задачей АЭ контроля является проведение диагностики без вывода объектов из эксплуатации [1]. Необходимость вывода конструкции из эксплуатации является одним из основных недостатков метода АЭ, понижающих его конкурентоспособность по сравнению с другими методами НК. В данной работе рассматривается возможность контроля роликовых опор вращающейся печи в режиме эксплуатации.

Печь представляет собой полый цилиндр диаметром до 5 и длиной до 185 метров, установленный с наклоном по отношению к горизонту на 3-4 градуса. Она предназначена для спекания руды с целью образования твердых алюминатов. Каждая печь опирается на 7-8 парных роликоопор, также установленных с наклоном по отношению к горизонту.

Роликоопора в свою очередь состоит из двух опорных блоков, установленных на общий фундамент. Каждый блок — это вал, запрессованный на него опорный ролик и три подшипниковых узла, смонтированных в двух корпусах. Данная конструкция оснащена подшипниками качения. Одна из цапф вала в осевом направлении фиксируется в корпусе подшипника с помощью упорных подшипников.

Особенностью контроля такой конструкции является необходимость контроля всех элементов — подшипников и вала.

Работы проводились на глиноземном комбинате. Всего было обследовано 15 опорных блоков с различными сроками эксплуатации.

В результате проведенных экспериментальных исследований были выявлены основные источники шумов (электрической и механической природы), мешающие проведению контроля, и способы отстройки от каждого из источников (амплитудная и частотная дискриминация, исключение периодических сигналов).

Было выявлено, что метод АЭ позволяет проводить общую оценку уровня износа вала и состояния подшипников, осуществлять локализацию дефектов на валу (за счет локации) и дефектов подшипников (на основании соотношений амплитуд на преобразователях, установленных на различных подшипниковых узлах), а также оценивать степень опасности дефектов на основании периодического диагностирования.

Литература

1. **Иванов В.И.** Неразрушающий контроль: Справочник в 7 т. / под ред. В.В. Клюева. Т. 7. Книга 1. Метод акустической эмиссии. М.: Машиностроение, 2005. 828 с.

ПРЕИМУЩЕСТВО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШИРОКОПОЛОСНЫХ БЕСКОНТАКТНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ БЕСКОНТАКТНОМ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ

В настоящее время активно развиваются бесконтактные способы УЗ контроля композитных материалов, применяемых в аэрокосмической промышленности. При реализации этих способов не требуется применение контактных веществ и какой-либо подготовки поверхности объекта контроля. Кроме этого, исчезает проблема неопределенности силы прижима, присущей контактному преобразователям.

Бесконтактный контроль осуществляется как в теновом варианте, так и при одностороннем расположении преобразователей (контроль с помощью поверхностных волн) [1]. При бесконтактном теновом контроле при приближении преобразователей к краю объекта контроля (ОК) возникает краевой дифракционный эффект – огибание УЗ края объекта контроля. Сигнал, обогнувший ОК по воздуху, может накладываться на сигнал, прошедший напрямую через ОК. В результате происходит изменение регистрируемой амплитуды сигнала и, как следствие, краевые области ОК и технологических отверстий не могут быть достоверно проконтролированы. В таком случае длительность сигнала определяет минимальное допустимое расстояние от преобразователей до краев ОК. В докладе показано, что использование широкополосных преобразователей, обеспечивающих излучение и регистрацию короткого сигнала, позволяет увеличить надежность контроля области вблизи краев ОК и области вокруг технологических отверстий без увеличения рабочей частоты. Приводятся описания конструкций широкополосных бесконтактных пьезопреобразователей с продольным и с поперечным пьезоэффектами с рабочими частотами в районе 100 кГц.

При бесконтактном эхо-контроле паразитный сигнал поверхностной релеевской волны имеет амплитуду значительно большую, чем амплитуда информационного донного сигнала. В случае использования узкополосных преобразователей донный сигнал зачастую замаскирован протяженным поверхностным сигналом наводки и не может быть выделен. В докладе показано, что использование широкополосных бесконтактных преобразователей, обеспечивающих короткий сигнал, позволяет разрешить во времени донный сигнал и сигнал по поверхности.

Литература

1. Solodov I., Döring D., Busse G., Air-coupled lamb- and rayleigh waves for remote NDE of defects and material elastic properties // Application of Contemporary Non-Destructive Testing in Engineering. 2009. P. 37—45.

Р.В. Концов, инж.; рук. В.К. Качанов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРОБЛЕМА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТОМОГРАФИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ БЕТОНА НЕСТАНДАРТНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

подавляющее большинство исследований, посвященных ультразвуковому (УЗ) неразрушающему контролю (НК) крупногабаритных строительных конструкций (СК) из бетона, предполагают, что УЗ антенная решетка (АР) располагается непосредственной над дефектной областью, а излучение и прием УЗ колебаний происходят по нормали. Однако при монолитном строительстве встречаются ситуации, при которых, например, отражающие поверхности находятся под углом к поверхности сканирования, а для поиска дефектов, находящихся в примыкающей стене, необходимо осуществлять контроль под углом более $30 - 40^\circ$. В этой ситуации необходимо разрабатывать УЗ АР с широкой диаграммой направленности (ДН), что, в свою очередь, возможно только при использовании УЗ преобразователей с круговой ДН [1]. Для поиска находящихся под углом отражающих поверхностей следует использовать алгоритм обработки сигналов АР «фокусировка на плоскость», а для поиска дефектов, находящихся в области встроенной в стену колонны, необходимо создавать двухсекционные АР, располагающиеся между выступающей колонны.

При всех случаях НК изделий из сложноструктурных материалов, таких как бетон, следует обеспечивать возможность обнаружения дефектов на фоне структурного шума (СШ), представляющего собой совокупное отражение от элементов структуры. Для этого при определении параметров АР следует находить компромисс в выборе шага АР (расстояния между элементами решетки) между требованиями минимизации СШ и получения четкого изображения сечения изделия при большом отклонении ДН АР от нормали. Для реализации различных вариантов НК, возможности адаптации параметров АР под условия конкретной задачи необходимо использовать многофункциональную адаптивную аппаратуру УЗ НК [2]. Тем самым проблема контроля СК с нестандартной конфигурацией является комплексной проблемой, которая может быть решена лишь при одновременном использовании всех перечисленных выше технических решений.

Литература

1. Шевалдыкин В.Г., Самокрутов А.А., Козлов В.Н. Ультразвуковые низкочастотные пьезопреобразователи с сухим точечным контактом и их применение для неразрушающего контроля. // Контроль. Диагностика. 2003. № 2. С. 30—39.
2. Ультразвуковая адаптивная многофункциональная дефектоскопия / В.К. Качанов, В.Г. Карташев, И.В. Соколов и др. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. 175 с.

Р.В. Концов, инж.; А.А. Синицын, к.т.н., с.н.с.; рук. В.К. Качанов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЫБОР ШАГА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ ЗАДАЧ ТОМОГРАФИИ БЕТОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

При ультразвуковом (УЗ) неразрушающем контроле (НК) строительных конструкций (СК) из сложноструктурного бетона одной из главных задач является уменьшение влияния структурного шума (СШ) — коррелированной с зондирующим сигналом помехи, возникающей при отражении зондирующего сигнала от многочисленных неоднородностей структуры (зерен гравия) бетона и маскирующей отражения от искомым дефектов изделия. Для эффективного снижения уровня СШ следует применять многоканальные методы пространственно-временной обработки сигналов (ПВОС) [1]. Одним из наиболее эффективных методов ПВОС является применение многоэлементных антенных решеток (АР), которые являются основным элементом УЗ томографов и с помощью которых реализуется построение изображений (томограмм) изделий. В подавляющем большинстве УЗ томографов шаг АР (расстояние между элементами АР) определяется требованием минимизации уровня боковых лепестков диаграммы направленности АР и составляет половину длины волны в объекте контроля. Однако при высоком уровне СШ приоритетной задачей является обнаружение дефекта, замаскированного СШ, для чего в этом случае следует выбирать шаг АР исходя из требований минимизации СШ[2].

В докладе представлены результаты выбора шага АР для различных задач УЗ НК сложноструктурных СК из бетона. Показывается, что на выбор шага АР по критерию минимизации СШ влияют используемый алгоритм ПВОС, апертура используемых пьезоэлектрических преобразователей (элементов АР), тип используемых УЗ волн (поперечный или продольный). Показано, что выбор шага АР зависит также от области, где проводится поиск дефекта. Например, для области, находящейся за пределами апертуры антенны, шаг АР может быть выбран неравномерным.

Литература

1. **Проблемы** выделения сигнала из структурного шума при контроле изделий из сложноструктурных материалов / В.К. Качанов, В.Г. Карташев, И.В. Соколов, М.В. Туркин // Дефектоскопия. 2007. № 9. С. 71—86.
2. **Влияние** шага ультразвуковой антенной решетки на эффективность выделения сигнала из структурного шума в дефектоскопии / Салем Али Зайд Салех, В.Г. Карташев, Е.В. Шалимова и др. // Измерительная техника. 2016. № 7.

*А.О. Кузнецов, студ. (НИУ «МЭИ»); рук. О.Н. Будадин, д.т.н., проф.
(АО «ЦНИИСМ»)*

ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ СЕТЧАТЫХ СТРУКТУР ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Существует и находит все большее применение большой класс изделий из полимерных композиционных материалов.

Перспективными изделиями являются конструкции, имеющие сетчатую структуру. Обладая малым весом, они имеют прочностные характеристики, значительно превышающие характеристики традиционных изделий и используются в ракетостроении, авиастроении и т.п.

Одна из проблем таких изделий – обеспечение достоверного высокопроизводительного контроля отслоений (дефектов) сетчатой структуры от подкрепляющей оболочки. В настоящем докладе изложены результаты разработки технологии теплового контроля таких дефектов.

Технология контроля заключается в нестационарном тепловом возбуждении специальными режимами контролируемого участка, регистрации и анализе нестационарного температурного поля, по характеристикам которого локализируются дефектные области [1].

Для теоретических исследований решена задача теплопроводности, описывающая процесс распространения тепла в сетчатой структуре, на основе решения нестандартного уравнения теплопроводности. Теоретические исследования позволили определить оптимальные режимы контроля, на основе которых разработана технология контроля.

Экспериментальные исследования образцов сетчатой конструкции с искусственными и естественными дефектами подтвердили эффективность разработанной технологии.

В настоящее время технология контроля используется в производстве.

Таким образом, разработана технология теплового контроля сетчатых структур и аналогичных конструкций и полимерных материалов, позволяющая выявлять отслоения ребер от оболочки.

Литература

1. Барынин В.А., Будадин О.Н., Кульков А.А. Современные технологии неразрушающего контроля конструкций из полимерных композиционных материалов. М.: ИД «Спектр», 2013. 242 с.

А.О. Кузнецов, студ. (НИУ «МЭИ»); рук. О.Н. Будадин, д.т.н., проф.
(АО «ЦНИИСМ»)

ВИХРЕТОКОВЫЙ ТОЛЩИНОМЕР ДЛЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С КРИВИЗНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

В настоящее время все большее применение находят многослойные конструкции из полимерных материалов (ПКМ) [1]. Широкое применение они нашли, например, в авиационной и ракетной технике, где предъявляются специфические жесткие требования к массогабаритным характеристикам конструкций.

Одним из важных методов контроля таких изделия является метод измерения толщины композитных (неметаллических) слоев конструкции на достаточно больших площадях (до 3—5 м²) с малой дискретностью перемещения по поверхности и малой погрешностью (не более 0,3 мм) [2].

С этой целью разработан малогабаритный переносной вихретоковый толщиномер [3], обеспечивающий измерение толщины слоев из диэлектрических материалов с кривизной поверхности, имеющий характеристики:

- возможность работы без смены вихретокового преобразователя в диапазоне толщин 1—45 мм;

- погрешность измерения $\pm 0,3$ мм на кольцевом закладном элементе (наружный диаметр не более 20 мм, внутренний диаметр — не менее 16 мм) между слоями.

Разработанный толщиномер используется в производстве для контроля серийных изделий [4].

Технические характеристики прибора подтверждены сертификатом о калибровке.

Литература

1. Барынин В.А., Будадин О.Н., Кульков А.А. Современные технологии неразрушающего контроля конструкций из полимерных композиционных материалов. М.: ИД «Спектр», 2013. 242 с.

2. **Неразрушающий контроль**: справочник: в 8 т. / под ред. В.В. Клюева Т. 2. Кн. 2. Вихретоковый контроль / Ю. К. Федосенко, В.Г. Герасимов, А.Д. Покровский, Ю.Я. Останин. — 2-е изд., доп. М.: Машиностроение, 2006.

3. **ГОСТ 24289—80**. Контроль неразрушающий вихретоковый. Термины и определения. М., 1980.

4. **Пат. РФ 2419763**. Вихретоковый толщиномер / А.И. Жаворонко, С.В. Кривоносов, В.А. Хлупнов. Оpubл. 27.05.2011 г. // Бюл. №15.

С.В. Лебедев, к.т.н., М.А. Караваев, асп.; рук. И.В. Соколов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Излучение и прием акустических сигналов через нерезонансный воздушный промежуток при бесконтактном контроле изделий из полимерных композитных материалов (ПКМ) связано с рядом проблем. Высокий коэффициент отражения сигнала от границы раздела сред и высокое затухание в ПКМ приводит к снижению отношения сигнал/белый шум на входе приемного тракта дефектоскопа много меньше единицы. При эхо-импульсном контроле появляются помехи вследствие отражения сигнала от границы раздела и прохождения сигнала между приемным и передающим пьезоэлектрическими преобразователями (ПЭП) через воздушный промежуток.

Результативным способом решения описанных проблем является повышение эффективности ПЭП и расширение их полосы пропускания для применения сложно модулированных широкополосных сигналов.

На кафедре ЭиН НИУ «МЭИ» разрабатываются широкополосные высокоэффективные ПЭП с мозаичной структурой, за счет которой достигается расширение полосы пропускания ПЭП без потери эффективности [1].

Для значительного повышения отношения сигнал-шум, позволяющего достоверно регистрировать эхо-сигналы, предлагается использовать в качестве зондирующего сплит-сигнал [2], представляющий собой последовательность разночастотных узкополосных радиоимпульсов — квазигармоник, несущие частоты которых чередуются по вполне определенному закону. Преимуществом такого подхода к передаче и приему сигнала является возможность оптимальной настройки частотных характеристик приемного и передающего трактов дефектоскопа под амплитудно-частотные характеристики каждой квазигармоники сплит-сигнала, что обеспечивает максимизацию отношения сигнал/шум на выходе дефектоскопа.

Литература

1. **Качанов В.К., Соколов И.В., Караваев М.А.** Разработка ультразвукового мозаичного широкополосного преобразователя для бесконтактного контроля изделий из полимерных композиционных материалов // Измерительная техника. 2015. № 2.
2. **Соколов И.В., Соколов Е.И.** Патент РФ на изобретение №: 2126538. Сплит-способ ультразвукового контроля, 12.09.1997.

*Т.И. Макарова, асп.; рук-ли Н.В. Мелешко, к.т.н., доц.;
В.П. Лунин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ УЗЛОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ДЕФЕКТΟΣКОПАМИ С ФАЗИРОВАННЫМИ РЕШЕТКАМИ

В последнее время участились случаи изломов колесных пар и литых деталей тележек грузовых вагонов, которые приводят к сходу подвижных составов и экономическим потерям. Основной причиной несвоевременного выявления опасных дефектов является недостаточность применяемых методик неразрушающего контроля не только на вагоноремонтных предприятиях, но и на вагоностроительных заводах.

В связи с вышесказанным была рассмотрена возможность ультразвукового контроля дефектоскопом с фазированными решетками (ФР) колесных пар и литых деталей тележек грузовых вагонов, а именно боковых рам в зоне радиусного перехода R55 буксового проема как самое распространенное место образования опасных дефектов [1].

Для исследований использовался ультразвуковой дефектоскоп OmniScan с 5 МГц 16-элементной фазированной решеткой с призмами, одна из которых – штатная с углом наклона 36°, другая – из нового эластомерного материала Аквален.

При работе с дефектоскопами типа OmniScan перед началом работы необходимо провести настройку: скорости УЗ волн, времени задержки в призме, чувствительности по углам [2].

При использовании призмы с углом наклона 36° границы диапазона секторного сканирования составили от 30 до 70°, что позволяет осуществить схемы прозвучивания поперечными волнами: для осей — с предподступичной части; для цельнокатаных колес — с поверхности катания и внутренней боковой поверхности; для боковых рам — с зачищенной поверхности радиусного перехода буксового проема. Для обеспечения контроля с незачищенной поверхности литых деталей в качестве призмы был применен материал Аквален.

В докладе представлены результаты, полученные при контроле образцов с искусственными и естественными дефектами.

Литература

1. **Щербинский В.Г.** Технология ультразвукового контроля сварных соединений. Спб.: Издательство «СВЕН», 2014.
2. **Дымкин Г.Я., Цомук С.Р.** Новые нормативные документы по неразрушающему контролю грузовых вагонов при ремонте // В мире НК. 2014. № 1. С.78—80.

ИЗМЕРЕНИЕ РЕАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ДЕФЕКТОВ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ С АНТИКОРРОЗИОННОЙ НАПЛАВКОЙ

При проведении ультразвукового контроля сварных соединений оценка качества проводится по таким параметрам, как амплитуда отраженного сигнала и условная протяженность несплошности [1]. Анализ действующей нормативной документации в области атомной энергетики показывает, что определение типа дефекта и его реальных размеров носит рекомендательный характер.

Выявление и оценка плоскостных дефектов, ориентированных продольно ультразвуковому лучу или под небольшим углом к нему, не может быть проведена правильно без определения их характера. Не всегда удастся правильно оценить степень опасности несплошности. Дополнительные трудности возникают при контроле изделий большой толщины с антикоррозионной наплавкой на внутренней стороне.

В работе рассмотрена технология изготовления моделей трещин, расположенных на границе основного металла и антикоррозионной наплавки в сварных соединениях трубопровода первого контура атомных электростанций с реакторами ВВЭР-1000. В отличие от применяемых отражателей для настройки УЗ-аппаратуры, таких как плоскодонные, боковые отверстия или сегментные отражатели [2], были выполнены пропилы разной высоты, расположенные в корне шва под разными углами относительно оси сварного соединения. Они были изготовлены до выполнения антикоррозионного слоя. Таким образом, после окончания всех этапов изготовления сварного соединения был получен образец, содержащий протяженные по высоте дефекты, не выходящие на поверхность, что имитирует поднаплавочные трещины.

Применение нескольких методов ультразвукового контроля, оценка радиографических снимков, а также оценка результатов моделирования хода УЗ-волн с помощью метода конечных элементов позволили выявить критерии, по которым можно оценить характер несплошности, ее ориентацию и протяженность по высоте с точностью, обеспечивающей получение реальных размеров.

Литература

1. ПНАЭ Г-7-10—89. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля.
2. ГОСТ Р 55724—2013. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ВИХРЕТОКОВЫХ МЕТАЛЛОДЕТЕКТОРАХ

Работа посвящена актуальным вопросам совершенствования техники досмотровых металлодетекторов с возможно более полным использованием функций энергосбережения, предоставляемых современной микропроцессорной базой. Проведен переход к полностью цифровым методам управления работой измерительного автогенератора вихретокового металлодетектора на основе математической модели работы пропорционально-интегрального регулятора и обработки выходных сигналов. Реализация в алгоритме работы микроконтроллера вытесняющей многозадачности позволяет применять цифровые фильтры к выходному сигналу, не прерывая управление работой измерительного автогенератора и работу детектора. Благодаря наличию у микроконтроллера STM8 [1], на котором основан разрабатываемый вихретоковый металлодетектор, возможности использования низковольтного питания осуществляется переход к использованию современных высокоэнергоемких аккумуляторов типа Li-Ion вместо неперезаряжаемых высоковольтных источников питания типа «Крона» [2].

При создании опытного образца спроектирована и изготовлена электронная печатная плата, аналогичная по размерам используемым в серийных экземплярах. На данном этапе опытный образец вихретокового металлодетектора с микропроцессорным управлением обнаруживает чувствительность, сопоставимую с ручным металлодетектором GARRETT Super-Scanner. Эта модель является самой популярной на рынке, используется службами безопасности на мероприятиях мирового масштаба. Оценка чувствительности проводится по стандартному набору тест-объектов ФГИМ.411449.004, который содержит в своем составе пять групп металлических тест-объектов, определяющих уровень опасности с первого по пятый.

Данная работа актуальна для производителей досмотровых металлодетекторов, а также служб, использующих их в повседневной деятельности, и имеет серьезные практические перспективы. Особый акцент делается на применимости результатов работы при создании ручных металлодетекторов для решения задач обеспечения безопасности.

Литература

1. **ST Microelectronics** group of companies. STM8L05xx, STM8L15xx, STM8L162x, STM8AL31xx and STM8AL3Lxx microcontroller family reference manual. 2012.
2. **Microchip** Technology Inc. MCP453X/455X/463X/465X datasheet. 2012.

*И.С. Савин, Е.А. Славинская, аспиранты;
рук. И.В. Терехин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ ВИХРЕТОКОВОГО ЭКРАННОГО ДАТЧИКА УРОВНЯ МЕТАЛЛА В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ

В работе исследуются свойства вихретокового датчика уровня металла (ДУМ) экранного типа применительно к задаче бесконтактного контроля уровня расплава в кристаллизаторе машины непрерывного литья заготовок. Существует матричный накладной ДУМ, который измеряет уровень косвенно через температуру внешней стенки кристаллизатора [1, 2]. Такой способ контроля имеет значительный недостаток – ограниченное быстродействие. Проблема запаздывания сигналов связана со временем перераспределения температуры по толщине стенки. Несвоевременная реакция датчика на колебания уровня жидкого металла опасна переливами и другими аварийными ситуациями на предприятии.

В экранном ДУМ обмотка возбуждения и измерительный элемент в виде матрицы катушек расположены на противоположных стенках кристаллизатора. Это позволяет получать сопоставимые сигналы от нагрева стенок и непосредственно от металла. «Тепловой» сигнал от нагрева для экранных ДУМ является мешающим фактором, который необходимо снизить.

Для исследования свойств экранного ДУМ разработана его междисциплинарная электромагнитно-тепловая 3D-модель в ANSYSWorkbench 2016.1. Смоделирован процесс заполнения кристаллизатора жидким металлом, а также нагрев его стенок при отсутствии металла. Адекватность модели подтверждается лабораторным и промышленным экспериментами. На основе моделирования и экспериментов определены частоты возбуждения, на которых «тепловая» помеха принимает наименьшее значение.

Литература

1. Мерман Д., Шмид Й., Спагнул С. Быстрое и точное определение уровня металла в кристаллизаторах машин непрерывного литья // Черные металлы. 2012. № 3. С. 53—61.

2. Терехин И.В. Разработка вихретоковых средств контроля уровня жидкого металла в гильзовом кристаллизаторе при непрерывной разливке стали: Автореф. дисс... канд. техн. наук. М., 2008.

*М.С. Садыков, студ. (НИУ «МЭИ»); рук. Е.Г. Базулин, д.т.н.
(НПЦ «ЭХО+», Москва)*

РАСЧЕТ МЕТОДОМ ЛУЧЕВЫХ ТРУБОК УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПОЛЯ, ПРОХОДЯЩЕГО ЧЕРЕЗ СВАРНОЕ СОЕДИНЕНИЕ

Результат восстановления изображения отражателей методом цифровой фокусировки изображения (ЦФА) [1] сильно зависит от заданной параметрами алгоритма скорости звука, а в случае учета отражения импульса от дна объекта контроля и от точности знания его толщины. Уточнить акустические и геометрические свойства объекта контроля можно, проводя сравнение измеренных эхосигналов с их расчетной оценкой, зависящей от акустических свойств объекта контроля. Так, в статье [2] был предложен алгоритм одновременного определения толщины объекта контроля и скорости поперечной длины волны с точностью 0,5 % с использованием двух антенных решеток. Акустические свойства сварного соединения (его плотность, скорость распространения продольной и поперечной волны или упругие постоянные), как правило, отличаются от акустических свойств основного металла. Поэтому для получения высококачественного изображения отражателей методом ЦФА нужно уточнить акустические свойства объекта контроля в области сварного соединения.

Для этих целей нужно уметь рассчитывать ультразвуковое поле, излученное антенной решеткой, расположенной слева от сварного соединения, прохождение импульсов через сварное соединение с однократным отражением от дна и регистрацией эхосигналов антенной решеткой, расположенной справа от сварного соединения. Для подобного рода расчетов применяется метод лучевых трубок. Сварное соединение может быть однородным или неоднородным, изотропным или анизотропным материалом.

Приведены сравнения результата расчета поля с эхосигналами, полученными в численных экспериментах с применением программы CIVA, предназначенной для моделирования результатов ультразвукового контроля. Проведено сравнение с результатами модельных экспериментов на специальном образце с моделями сварного соединения.

Литература

1. **О применимости** технологии антенных решеток в решении задач ультразвукового контроля опасных производственных объектов / В.А. Воронков, И.В. Воронков, В.Н. Козлов и др. // В мире неразрушающего контроля. 2011. № 1. С. 64—70.
2. **Базулин Е.Г., Исмаилов Г.М.** Измерение скорости звука и толщины в плоскопараллельных объектах контроля с использованием двух антенных решеток // Дефектоскопия. 2013. № 8. С. 20—34.

А.С. Фадин, асп.; рук. В.Г. Карташев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТРАЖЕНИЯ ОТ СТРУКТУРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ КАК ИНФОРМАТИВНЫЙ ПАРАМЕТР СТАРЕНИЯ БЕТОНА

Большинство строительных сооружений выполнено из бетона. Со временем бетон теряет свои свойства, происходит его старение, структура его меняется, появляются микротрещины. В связи с этим прочность бетона падает, а характеристики его изменяются. Проследить процесс старения ультразвуковыми методами возможно по поиску образования крупных трещин, измерению скорости прохождения ультразвуковой волны, погонного затухания, анализу общей картины временной реализации структурного шума, т.е. результату отражения от совокупности неоднородностей объекта на различной глубине [1]. Задача усложняется, если бетонный объект имеет большую протяженность, что не позволяет получить донный сигнал, и отсутствует возможность использования теневого метода контроля.

Ставится задача измерения эхометодом коэффициента погонного затухания ультразвуковой волны в бетонном объекте.

Погонное затухание возможно определить по характеру убывания дисперсии структурного шума. Чем сильнее ослабление ультразвука в среде, тем быстрее убывает дисперсия структурного шума. Однако для определения погонного затухания ультразвуковых волн в среде предполагается, что в полученной осциллограмме структурного шума отсутствуют паразитные акустические наводки, отношение сигнал/структурный шум меньше единицы, временной интервал соответствует протяженности объекта контроля, интенсивность структурного шума превышает шум приемника более чем 10 раз, принятая временная реализация структурного шума не искажена при прохождении через приемный тракт.

Литература

1. **Ультразвуковая** адаптивная многофункциональная дефектоскопия / В.К. Качанов, В.Г. Карташев, И.В. Соколов и др. М.: Издательский дом МЭИ, 2015.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ИМПАКТ-ЭХО МЕТОДА

Импакт-эхо метод – акустический метод неразрушающего контроля, основанный на анализе собственных частот изделия, предназначен для измерения толщины крупногабаритных бетонных строительных конструкций (СК) при одностороннем контакте с изделием. Получил широкое распространение в развитых странах (США, Германия, Япония и др.) благодаря простоте использования и возможности измерения толщины СК, протяженность которых может достигать нескольких метров. Ограничением по использованию является конфигурация СК: импакт-эхо метод применяется, как правило, для контроля протяженных изделий стандартной конфигурации, в которых измеряемая толщина во много раз меньше иных размеров (для измерения толщины стен, перекрытий, фундаментов зданий и др.), а также в СК, измеряемая толщина которых много больше иных размеров (для измерения протяженности колонн, забивных свай длиной до нескольких десятков метров и др.) [1]. В нашей стране, к сожалению, отсутствуют нормативные документы по использованию импакт-эхо метода, и поэтому он не получил должного применения в строительстве. Соответственно отсутствуют исследования за исключением работ, проводимых в МЭИ, по использованию импакт-эхо метода для контроля компактных СК, измеряемый размер которых сопоставим с иными размерами изделий.

Целью настоящего доклада является обзор существующих применений импакт-эхо метода в развитых странах (контактный и бесконтактный импакт-эхо метод, импакт-дефектоскопия, контроль забивных свай и др.), обзор исследований (по повышению точности измерения толщины СК из бетона, по разработке систем автоматизированного контроля [2], по определению прочности бетона и др.), а также обзор результатов, полученных в МЭИ при контроле компактных изделий.

Литература

1. Sansalone M., Streett W.B. 1997. Impact-Echo: Nondestructive Testing of Concrete and Masonry. Bullbrier Press, Jersey Shore, PA.
2. Jixing YE, Masaya Iwata, Kobayashi Takumi, Masahiro Murakawa, Higuchi Tetsuya, et al. Statistical Impact-Echo Analysis Based on Grassmann Manifold Learning: Its Preliminary Results for Concrete Condition Assessment. Le Cam, Vincent and Mevel, Laurent and Schoefs, Franck // EWSHM - 7th European Workshop on Structural Health Monitoring, Jul 2014, Nantes, France. <hal-01021193>.

С.А. Федоренко, асп.; рук. В.К. Качанов, д.т.н., проф. (НИУ МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА С ПОМОЩЬЮ ИМПАКТ-ЭХО МЕТОДА

Среди неразрушающих методов определения прочности бетона наибольшее распространение получил ультразвуковой (УЗ) метод [1], в основе которого лежит корреляция между скоростью ультразвука C и прочностью бетона на сжатие R . Определение прочности бетона в процессе его застывания проводится посредством измерения скорости УЗ колебаний (УЗК) на стандартных образцах — кубиках размером 15x15x15 см или 20x20x20 см, отлитых из того же раствора, что и основная конструкция. Измерение скорости проводят теневым методом при использовании узкополосных гармонических низкочастотных (НЧ) сигналов ($f_0 \sim 50$ кГц) с последующим построением градуировочной характеристики «скорость УЗК — прочность», по которой в дальнейшем определяют прочность основной бетонной конструкции. К сожалению, теневой НЧ метод измерения скорости в стандартных тестовых образцах сложен (необходимо обеспечение постоянства контакта датчика с изделием в течение почти 27 дней застывания бетона) и неточен (возникают погрешности в измерениях из-за геометрической дисперсии УЗК в изделии, размеры которого сопоставимы с длиной волны). Поэтому ГОСТ [1] требует проведения серии измерений, которые впоследствии должны быть усреднены.

Указанные недостатки отсутствуют в методе измерения прочности бетона в стандартных образцах с использованием импакт-эхо метода. В докладе показывается, что, несмотря на то, что куб является компактным изделием (в которых измеряемая толщина H соизмерима с иными размерами и поэтому на спектральной характеристике присутствует множество спектральных максимумов, не позволяющих однозначно судить о измеряемой толщине [2]), в данном случае благодаря равенству всех трех размеров куба возможно получение однозначного результата — определение максимума f_{\max} на спектральной характеристике изделия, по которому определяется скорость ультразвука в бетоне $C = 2f_{\max}H/\beta$ с учетом полученного при моделировании в среде ANSYS коэффициента коррекции $\beta = 0,87$.

Литература

1. ГОСТ 17624—2012. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности.
2. Качанов В.К., Соколов И.В., Авраменко С.Л. Проблемы акустического контроля крупногабаритных строительных конструкций из бетона // Дефектоскопия. 2008. № 12. С. 12—22.

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА КОМПЕНСАЦИИ ПОМЕХОВЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ УЗ КОНТРОЛЯ

В современной аппаратуре ультразвукового (УЗ) контроля крупногабаритных изделий с высоким уровнем затухания ультразвука для повышения чувствительности аппаратуры применяют в качестве зондирующих сложномодулированные сигналы и оптимальную фильтрацию эхо-сигналов. К сожалению, вид сигнала на выходе оптимального фильтра, соответствующий виду его автокорреляционной функции, не наилучшим образом удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям. А именно: эхо — достаточно короткий импульс с относительно высоким уровнем боковых лепестков, так называемых некомпенсированных остатков, амплитуда которых составляет величину до 0,2 амплитуды основного лепестка. Такой высокий уровень боковых лепестков отрицательным образом сказывается на достоверности УЗ контроля как приповерхностных, так и придонных областей.

Разрабатываемый в ходе выполнения диссертационной работы многофункциональный программно-аппаратный комплекс решает проблему повышения достоверности УЗ неразрушающего контроля приповерхностных областей применения алгоритма супрессии как сигнала электроакустической наводки, так и донного эхо-сигнала [1].

В докладе приведены результаты УЗ неразрушающего контроля приповерхностных областей тестовых образцов, выполненных из оргстекла с искусственно изготовленными дефектами в виде торцевых сверлений, при использовании в качестве зондирующего сигнала линейно-частотно-модулированных импульсов.

Литература

1. **Способ** ультразвукового неразрушающего контроля. Положительное решение по заявке на изобретение № 2015150766/28(078146) от 26.11.2015 / И.В. Соколов, М.А. Караваев, М.Б. Фёдоров и др.

РЕШЕНИЕ ЛОКАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ В АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОМЕНТОВ ВЫСШИХ ПОРЯДКОВ

Метод акустической эмиссии (АЭ) находит все более широкое применение в практике неразрушающего контроля. Одним из показателей эффективности применения метода является определение источников АЭ с минимальной погрешностью; она складывается из погрешности задания скорости распространения акустических волн в трубопроводе, измерения расстояния между преобразователями АЭ (ПАЭ) и регистрации времени прихода сигналов на ПАЭ [1].

Цель работы заключается в применении метода статистик высших порядков [2] для определения времени прихода сигналов и минимизации погрешности, вносимой неточностью определения скорости детектируемой моды поверхностной волны, используя спектрограмму исходного сигнала и дисперсные кривые.

Локация источника акустической эмиссии определяется соотношением

$$l = \frac{\Delta t c}{2}, \quad (1)$$

где l — расстояние между дефектом и датчиком; L — расстояние между датчиками; c — скорость распространения звука в среде; $\Delta t = t_1 - t_2$ — разность времен прихода сигнала на датчики.

Примеры полученных значений и погрешности определения $l_{\text{ист}} = 9,2$ м представлены в табл. 1.

Таблица 1

Координаты источника АЭ и погрешность определения $l_{\text{ист}}$

Значение	$n_{\text{ПАЭ2}}$, отсчетов	$n_{\text{ПАЭ3}}$, отсчетов	Δn , отсчетов	l , м	Δl , м
мб	12 470	21 960	9490	9,30	0,10
log(mб)	4773	7021	2248	9,15	0,05

Литература

1. Муравьев В.В. Физические основы и технологии акустико-эмиссионного контроля металлоконструкций на железнодорожном транспорте. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2014.

2. Lokajicek T., Klima K. High-order statistics approach: automatic determination of sign and arrival time of acoustic emission signals // 28-European Conf. AE Testing, 2008.

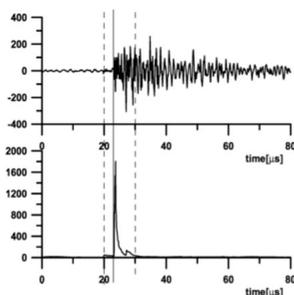


Рис. 1. Пример сигналов АЭ и изменения статистического момента шестого порядка

*Р.А. Хуснутдинов, Г.Д. Марданов, аспиранты;
рук. А.В. Голенищев-Кутузов, д.ф.-м.н., проф. (КГЭУ, г. Казань)*

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

В современных условиях возникает существенная необходимость мониторинга рабочего состояния высоковольтного оборудования, особенно высоковольтных изоляторов (ВИ). Однако до сих пор нет нормативных материалов по дистанционному контролю ВИ, а существуют отдельные попытки использования для контроля энергетического оборудования различных методов измерения частичных разрядов (ЧР).

Успешный контроль состояния изолирующих элементов высоковольтного оборудования возможен только при одновременном использовании нескольких методов. Однако в настоящее время практически все выпускаемые промышленностью диагностические приборы как отечественные, так и зарубежные рассчитаны в основном на использование одного метода: электромагнитного, акустического либо термографического, которые пока нашли применение для контроля изоляции высоковольтных силовых трансформаторов и кабелей.

Таким образом, неразработанность реальных методик и отсутствие нормативных документов по контролю и диагностике рабочего состояния ВИ стали главной причиной для разработки более совершенного комплексного метода оперативного контроля рабочего состояния ВИ, сочетающего одновременную дистанционную регистрацию ЧР с помощью электромагнитного и акустического датчиков и созданную компьютерную программу. Как показали предварительные исследования, разработанный метод позволяет определять необходимые характеристики ЧР и отображать их в виде распределения амплитуды и числа ЧР в зависимости от фазы рабочего напряжения и распределения их числа по интенсивности.

Полученное фазовое распределение параметров импульсов сравнивается с ранее записанным распределением параметров импульсных сигналов для (бездефектного) ВИ того же типа. Определение реального значения интенсивности отдельного частичного разряда выполняется после градуировки приемников электромагнитных и акустических сигналов с использованием контактного датчика.

*Д.В. Чернов, асп.; рук-ли В.А. Барат, к.т.н., доц.;
В.П. Лунин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ, НАХОДЯЩИХСЯ В РЕЖИМЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В настоящее время в процессе эксплуатации находится большое количество опасных промышленных объектов, таких как трубопроводы, мостовые сооружения, резервуары и др. С течением времени происходит их деградация, приводящая к снижению прочностных характеристик. Скорость деградации объектов зависит от множества факторов — коррозионной среды, превышения номинальных нагрузок, внешних механических повреждений. В результате их воздействия инициируется процесс накопления повреждений. Достижение критических значений повреждений может привести как к незначительным экономическим потерям, так и к техногенным катастрофам. Для предотвращения аварийных ситуаций необходимо использовать методы неразрушающего контроля (НК), позволяющие определить степень опасности накопленных повреждений.

Одним из перспективных методов НК является метод акустической эмиссии (АЭ). Он основан на явлении генерации упругих волн при структурных изменениях материала [1]. Метод АЭ — один из немногих методов технической диагностики, позволяющих оценивать процесс накопления повреждений при эксплуатации технических объектов. Стоит отметить, что в рамках технологического процесса могут возникать не только полезные, но и шумовые акустические сигналы, присутствие которых усложняет регистрацию и обработку АЭ данных.

Исходя из вышесказанного основной задачей АЭ контроля объектов в режиме эксплуатации является разработка методик обработки и фильтрации данных, позволяющих выявлять критически и катастрофически опасные источники акустических сигналов. Одним из таких механизмов фильтрации может стать метод оценки временных рядов [2]. Применение такого метода позволит провести фильтрацию шума и определить уровень опасности накопленных повреждений.

Литература

1. **Features** of the AE testing of equipment in operating mode / S.V. Elizarov, V.A. Barat, V.V. Bardakov et al. // 32nd European Conference on Acoustic Emission Testing, 2016, September 07—09, 2016, Prague, Czech Republic.

2. **Барат В.А., Чернов Д.В., Елизаров С.В.** Применение методов обнаружения разладки потока данных для повышения помехоустойчивости метода акустической эмиссии // Дефектоскопия. 2016. № 6. С. 61—70.

СОДЕРЖАНИЕ

НАПРАВЛЕНИЕ — РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА	
Секция 1. Теоретические основы радиотехники	5
Секция 2. Формирование колебаний и сигналов	22
Секция 3. Устройства обработки радиосигналов	42
Секция 4. Антенные устройства и распространение радиоволн	65
Секция 5. Радиолокация и телевидение	76
Секция 6. Системы радиоавтоматики и радиоуправления	94
Секция 7. Сети и системы передачи информации	102
Секция 8. Квантовая электроника	110
Секция 9. Фотоника	126
Секция 10. Промышленная электроника	146
Секция 11. Электроника и нанoeлектроника	171
Секция 12. Биомедицинская электроника	196
НАПРАВЛЕНИЕ — ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	
Секция 13. Математическое моделирование	231
Секция 14. Прикладная математика	243
Секция 15. Вычислительная техника и САПР	262
Секция 16. Вычислительные машины, сети и системы	266
Секция 17. Управление и информатика в технических системах	290
Секция 18. Вычислительно-измерительные системы	323
Секция 19. Неразрушающий контроль и диагностика	333

Научное издание

**РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
И ЭНЕРГЕТИКА**

**Двадцать третья Международная научно-техническая
конференция студентов и аспирантов**

Тезисы докладов
В 3 томах

Том 1

Корректор *Г.Ф. Раджабова*
Компьютерная верстка и подготовка
оригинал-макета *М.Н. Маркиной*

Подписано в печать 30.01.17
Печать цифровая

Формат бумаги 60×84/16
Усл. п.л. 20,7
