XVIII МОЛОДЕЖНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ УЧАЩИХСЯ, СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

«НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ – 2016»

(TECHNOLOGY&SYSTEMS-2016)

Посвящается 55-летию Первого полета человека в космос

20 апреля 2016

МОСКВА
МГТУ им. Н. Э. Баумана
2016

УДК: 681.328

18-ая Молодежная международная научно-техническая конференция
"Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2016". -
г. Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана. 20 апреля 2016 г.

Тематика молодежной международной научно-технической конференции учащихся, студентов, аспирантов и молодых ученых НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ (TECHNOLOGY&SYSTEMS-2016) охватывает широкий круг фундаментальных и прикладных исследований: современные технологии цифрового производства, фундаментальные вопросы наноинженерии, GRID - технологии, САПР, интернет/интранет технологии и телекоммуникации, системы управления базами данных, знаний, экспертные системы и искусственный интеллект и многие другие.

В научную программу конференции вошли более 50 секционных и стендовых докладов и программно-технических разработок.

Конференция входит в научную программу МГТУ им. Н. Э. Баумана «Студенческая научная весна» и приурочена к 55-летию Первого полета человека в космос.

В рамках конференции состоится научный семинар "Промышленная керамика. Технологии, сферы применения", организуемый при участии сотрудников Института керамических технологий Общества имени Фраунгофера (Германия).

Все доклады, включенные в сборник трудов конференции, воспроизведены в авторской редакции, всю ответственность за предоставленные материалы несут авторы докладов.

При цитировании публикации конференции следует указывать только фамилию, имя и отчество авторов докладов, указанные научные руководители авторами не являются и выполняют роль внутренней самоэкспертизы, включенных в программу молодежной конференции работ.

Материалы конференции имеют свободный доступ, это означает, что статьи можно читать, загружать, копировать. распространять, печатать и ссылаться на их полные или частичные тексты с указанием авторства без каких либо ограничений. Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

Редколлегия сборника:
В.А. Шахнов член-корреспондент РАН, профессор, д.т.н., зав. кафедрой "Проектирование и технология производства ЭА" МГТУ им. Н. Э. Баумана, председатель оргкомитета конференции.
А.И. Власов доцент, канд. техн. наук, зам. председателя оргкомитета.
В.А. Соловьев доцент, руководитель экспертной комиссии.
В.Г. Перепелицын ученый секретарь

® Оформление кафедра ИУ4
"Проектирование и технология производства ЭА"
МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016
®Авторы докладов

Подписано к печати 01 марта 2016 года

Заказ №03.02.114 Объем 4 п.л. Тираж 500 экз.

Молодежная международная
научно-техническая конференция
учащихся, студентов, аспирантов
и молодых ученых

Организаторы конференции:

- Московский Государственный технический Университет им. Н. Э. Баумана;·
- Институт керамических технологий Общества имени Фраунгофера (Германия)
- Факультет "Информатика и системы управления" МГТУ им. Н. Э. Баумана;·
- Кафедра "Проектирование и технология производства электронной аппаратуры" (ИУ4) МГТУ им. Н. Э. Баумана;·
- Кафедра "Системы автоматизированного проектирования" (РК6) МГТУ им. Н. Э. Баумана;·
- Центр развития инновационной инфраструктуры и молодежного предпринимательства МГТУ им. Н. Э. Баумана;
- Фонд содействия развитию науки, инноваций и технологий;·
- Московское областное региональное отделение Союза машиностроителей России;
- ОАО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро»;·
- НИИИН МНПО «СПЕКТР»;
- ООО «Бауман инжиниринг»;
- ООО "Алл Импекс 2001";
- Издательский дом «Электроника».

Информационный партнер конференции - Издательский дом «Электроника»

Информационная поддержка:
Журнал «Наука и образование» (http://technomag.edu.ru/)
Журнал «Электронные компоненты» (http://www.elcp.ru);
Журнал «Информационные технологии»;
Журнал «Датчики и системы».

Тематика конференции:
– фундаментальные аспекты наноинженерии и наноэлектроники;
– современные встраиваемые системы: проектирование и производство;
– современные технологии производства цифровой аппаратуры и элементной базы;
– бионанотехнологии и медицинское оборудование;
– информационные системы и телекоммуникационные технологии;
– CAD/CAM/CAE технологии.

Оргкомитет конференции

Шахнов В.А.	–	председатель, зав. каф. ИУ4 МГТУ им. Н. Э. Баумана;
Джанджгава Г.И.	–	сопредседатель, Президент, Генеральный конструктор ОАО "Раменское приборостроительное конструкторское бюро", член бюро Центрального совета Союза машиностроителей России;
Карпенко А.П.	–	сопредседатель зав. каф. РК6 МГТУ им. Н. Э. Баумана;
Клюев В.В.	–	сопредседатель, директор НИИИН МНПО «СПЕКТР»;
Лыткин П.Д.	–	сопредседатель, генеральный директор ОАО "Раменское приборостроительное конструкторское бюро", председатель Московского областного регионального отделения Союза машиностроителей России;
Евсеев М. И.		сопредседатель, генеральный директор ООО Алл Импекс 2001
Матвеев В.А.	–	сопредседатель, руководитель НУК ИУ МГТУ им. Н. Э. Баумана;
Пролетарский А.В.	–	сопредседатель, декан факультета «ИУ» МГТУ им. Н. Э. Баумана;
Соловьев В.А.	–	председатель экспертной комиссии, доцент МГТУ им.Н.Э.Баумана;
Костиков В.Г.	–	зам. председателя, профессор ОАО «Концерн Алмаз-Антей»;
Власов А.И.	–	зам. председателя, доцент МГТУ им. Н. Э. Баумана;
Перепелицын В.Г.	–	ученый секретарь.
Алфимцев А.Н.	–	зам. руководителя НУК ИУ МГТУ им. Н. Э. Баумана по научной работе;
Демин А.А.		Председатель Совета молодых ученых кафедры ИУ4;
Андрианов И.М.	–	ген. директор ООО "Бауман инжиниринг";
Денисов А.А.	–	генеральный директор ЗАО «Нанотехнологические системы»;
Козлов Н.В.	–	Центр развития инновационной инфраструктуры и молодежного предпринимательства МГТУ им. Н. Э. Баумана;
Стешенко В.Б.	–	ОАО «Российские космические системы»;
Шевчун В.Н.	–	начальник отдела научно-исследовательской работы студентов и молодёжи МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Экспертная комиссия

Председатель экспертной комиссии: Соловьев В.А.

члены экспертной комиссии: В.В.БЕЛОУС, А.Н. БОЖКО, Т.М. ВОЛОСАТОВА, Д.М. ЖУК, В.Б.МАНИЧЕВ, В.А. МАРТЫНЮК, Н.В. ПИВОВАРОВА, В.А. ТРУДОНОШИН, В.Г.ФЕДОРУК, А.Е. АВЕРЬЯНИХИН, А.А. АДАМОВА, А.И. АРАБОВ, В.А. ВЕРСТОВ, В.Н. ГРИДНЕВ, А.А. ДЕМИН, Д.А. АМИНЕВ, Л.В. ЖУРАВЛЕВА, Л.А. ЗИНЧЕНКО, Ю.В.ИВАНОВ, Э.Н.КАМЫШНАЯ, А.А. КАРПУНИН, А.Е. КУРНОСЕНКО, А.В.ЛАВРОВ, В.В.ЛЕОНИДОВ, Н.В. МАКУШИНА, В.В.МАКАРЧУК, К.А. МУРАВЬЕВ, В.В.МАРКЕЛОВ, Е.В. РЕЗЧИКОВА, С.Г.СЕМЕНЦОВ, М.Д.СЕРГЕЕВА, Н.А. СЕРГЕЕВА, Ю.Н. ТИНЯКОВ, К.А. УСАЧЕВ.

Официальный сайт конференции http://iu4.ru

(электронные материалы прошедших конференций по адресу: http://iu4.ru/)

ГРАФИК МЕРОПРИЯТИЙ КОНФЕРЕНЦИИ

№	Мероприятия	Дата, Время	Ауд.
1	Регистрация участников конференции	9.00-10.00	По месту проведения секции
2	Открытие конференции. Выступления представителей организаторов. Пленарные доклады	10.00-10.30	По месту проведения секции
3	Секция: Интеллектуальные системы	10.00-17.00	ауд.229 гл. корпус МГТУ им. Н. Э. Баумана
4	Секция: Наукоемкие технологии	10.00-17.00	ауд.278, гл. корпус МГТУ им. Н. Э. Баумана
5	Семинар «Промышленная керамика. Технологии, сферы применения»	09:00 – 17:00 31.05.2016	Зал ученого совета, гл. корпус МГТУ им. Н. Э. Баумана
6	Награждение победителей научно-технической программы конференции	Заседание ученого совета 31.05.2016	Зал заседаний ученого совета

В зависимости от времени прибытия докладчиков программа может быть изменена.
Просим следить за объявлениями оргкомитета.

Адреса и телефоны для контактов

Председатель оргкомитета:
Член-корреспондент РАН, профессор, д.т.н. Шахнов Вадим Анатольевич
тел. (499) 263-65-52
e-mail: shakhnov@iu4.bmstu.ru

Зам. председателя оргкомитета:
к.т.н., доцент Власов Андрей Игоревич
тел. (499) 263-65-53

Председатель экспертной комиссии:
доцент Соловьев Владимир Анатольевич
тел. (499) 263-65-53

Ученый секретарь:
Перепелицын Валентин Георгиевич
тел. (499) 263-65-53

Секретариат оргкомитета:
Максимова Елена Александровна
тел. (499) 263-65-53

Адрес оргкомитета: 105005, 2-ая Бауманская 5, МГТУ им. Н. Э. Баумана, стр.1, "ИУ-4".

Дорогие друзья!

МГТУ им. Н.Э. Баумана имеет богатый опыт подготовки инженеров различных специальностей. Выпущены десятки тысяч специалистов, среди которых такие известные во всем мире, как С.П. Королев, А.Н.Туполев, В.Г. Шухов, И.Я. Стечкин, Н.А. Доллежаль и многие, многие другие. 18-я конференция «Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы» посвящена 55-летию Первого полета человека в космос.

Выпускники и сотрудники нашего университета открыли миру дорогу в космос, среди них известные конструкторы космических систем и девять летчиков - космонавтов. 12 апреля 1961 года, ровно пятьдесят пять лет назад, был совершен первый полет человека в космос. В России и во всем мире с размахом проходят мероприятия, посвященные полету Юрия Гагарина. Интернациональным этот праздник стал пять лет назад в 2011 году, по решению ООН.

Известны в стране и мире конструкторы-бауманцы вычислительной техники, робототехники, средств радиолокации, оборонной техники. Следует отметить, что всегда, независимо от политических и экономических условий, ученые нашего университета находили такие пути развития инженерной подготовки, которые были наиболее значимыми для страны и соответствовали тенденциям развития науки, техники, технологии и традициям МГТУ им. Н.Э.Баумана.

К сожалению, звание «инженер» становится как бы виртуальным: университеты перешли к выпуску бакалавров и магистров. Но в МГТУ им. Н.Э. Баумана традиции подготовки инженеров не исчезли. Университет по-прежнему видит главным в своей работе подготовку современных специалистов, независимо от названия их квалификации. Надеюсь, что участие в настоящей конференции станет значительным этапом в вашей творческой деятельности, дорогие бакалавры, магистры, аспиранты, еще одним шагом к профессиональному мастерству и совершенству.

Специалист в области современных технологий должен обладать обширными знаниями в различных областях и, прежде всего, в математике, физике, химии, информатике, прикладных и специальных науках. Он должен обладать такой эрудицией, которая позволит ему в быстро меняющихся экономических условиях находить сферу приложения своих знаний, опыта, способностей. Это особенно важно в связи с тем, что наш университет занимает ведущее место в работах по развитию ресурсных научных центров. Надеюсь, что многие участники нашей конференции будут в числе специалистов, стоящих у порога новых открытий, новых свершений на благо нашей Родины.

Желаю успеха всем участникам конференции!

Председатель Научно-координационного совета МГТУ им. Н. Э. Баумана по «Наноинженерии»,
заведующий кафедрой «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» МГТУ им. Н. Э. Баумана,
Заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент РАН, докт. техн. наук, профессор

В.А. Шахнов

Уважаемые бауманцы!

XVIII Молодежная международная научно-техническая конференция «Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы» посвящена 55-летию Первого полета человека в космос.

В свое время создание факультетов специального (космического) машиностроения и приборостроения стало знаковым решением, позволившим сконцентрировать усилия лучших научно-педагогических кадров на подготовке инженеров для космических отраслей промышленности, что в значительной мере способствовало успешному решению насущных научно-технических задач по укреплению мощи, обороноспособности и международного статуса нашего государства.

История не стоит на месте – встают новые масштабные проблемы, которые требуют стратегических решений. Наступивший XXI век – это время перехода на новый, шестой, технологический уклад, краткая формула которого – преобладание «инфо-, био-, нано-, когнитивных технологий». Как и 80 лет назад, проблема для нашего государства и общества стоит очень остро – «или мы пробежим расстояние, отделяющее нас от передовых экономик мира, или нас сомнут». Для успешного решения столь масштабной задачи нужны, в первую очередь, кадры – новое поколение творческих, инициативных и ответственных специалистов, способных принимать смелые решения и реализовывать их на практике. И здесь многое зависит от нынешней учащейся молодежи – от ее упорства, творческой активности, трудолюбия и самоотверженности. Сегодня государством предпринимаются значительные усилия по развитию научно-образовательной сферы и привлечению молодежи в науку и промышленность высоких технологий.

Не остаются в стороне и передовые промышленные предприятия. ОАО «Раменское приборостроительное конструкторское бюро» – признанный мировой лидер и крупнейший в России разработчик интегрированных комплексов бортового радиоэлектронного оборудования для авиационных летательных аппаратов – выступило инициатором создания Технопарка «Раменское», ядром которого станет инжиниринговый центр приборостроения и интеллектуальных встраиваемых систем. Проект создания Технопарка «Раменское», получивший международный статус, был поддержан и одобрен ГК «Ростехнологии», Губернатором Московской области, руководством и учеными МГТУ им. Н.Э. Баумана. Особое внимание в рамках проекта Технопарка уделяется работе по подготовке специалистов, обладающих компетенциями мирового уровня и способных создавать продукты и технологии, востребованные на глобальном рынке.

XVIII Молодежная международная научно-техническая конференция, основная тематика которой соответствует проблемам развития технологий шестого уклада, нацелена на раскрытие и развитие творческого потенциала молодежи – это одно из направлений нашей совместной работы по подготовке инженеров и ученых будущего.

Желаем всем участникам конференции плодотворной работы и творческих успехов!

Президент, Генеральный конструктор ОАО «РПКБ», заслуженный деятель науки РФ, докт. техн. наук, профессор
Г.И. Джанджгава

Генеральный директор ОАО «РПКБ»
П.Д. Лыткин

СЕКЦИЯ 1

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Читальный зал преподавателей (ауд.229), гл. корпус МГТУ им. Н. Э. Баумана.
Начало в 10.00.

1. БИБЛИОТЕКА МЕТОДОВ НАСТРОЙКИ СВОБОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ
Агасиев Т.А.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.
2. ОБУЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ, АНИМАЦИИ, АНАЛИЗУ В ПРОГРАММЕ CAD ПОД УПРАВЛЕНИЕМ ПРОГРАММЫ PLM
Бочаров В.А., Брайловский Т.Ю., Елфимов В.Т., Козов А.В.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.
3. МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ ТРУДОЕМКОСТИ ПРОЕКТОВ ПО МЕТОДАМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТОЧЕК (IFPUG)
Чиканчи Д.А.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.
4. ОБЗОР МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ШАГАЮЩИХ РОБОТОВ
Чернышов Н.С.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.
5. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ МЯЧА, БРОШЕННОГО ВЕРТИКАЛЬНО ВНИЗ
Фельдман Э.О.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.
6. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ
А.В. Герасимова, Н.А. Сачкова
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.
7. КОНЦЕПЦИЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ
Гоношилов Д.С.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.
8. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА БАЙЕСА ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ
Губриенко А. Г.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.
9. ТЕСТ НА ПРОНИКНОВЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ TEENSY
Хаперская В.Ю.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ8.
10. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ВСТРАИВАНИЯ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В АУДИОКОНТЕЙНЕР В ФОРМАТЕ WAV
Кочев А.В.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.
11. СИСТЕМЫ СИНХРОННОГО ПЛАНИРОВАНИЯЦЕПОЧЕК ПОСТАВОК: ЗАДАЧИ, СТРУКТУРА, РЕШЕНИЯ
Коробков Е. В.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.
12. МЕТОД LSB ДЛЯ СОКРЫТИЯ ТЕКСТОВОЙ И ГРАФИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В АУДИОСРЕДЕ
Козарь А.А.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.

13. РАСШИРЕННАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПОДЗАПРОСОВ В ORACLE
Козлов А.А., Абасов Р. К.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.
14. РАЗВИТИЕ НАНОСПУТНИКОВ
Козлова Н.Ю., Козлова М.Ю.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ1.
15. МАЛОГАБАРИТНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
Кувакина А.Е.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ3.
16. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА
Спасёнов А.Ю., Логунова А.О.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.
17. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННГО КО-АЛГОРИТМА ЭВОЛЮЦИИ РАЗУМА
Сахаров М.К.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.
18. ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПРОЧНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО УЗЛА С АРХИТЕКТУРОЙ INTEL MIC(INTEL MANY INTEGRATED CORE ARCHITECTURE)
Щетинин В.Н.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.
19. СЕТЕВАЯ РЕПЛИКАЦИЯ ДАННЫХ В КРОССПЛАТФОРМЕННОМ ПО ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕРФЕЙСА НА УДАЛЕННОМ УСТРОЙСТВЕ
Сериков И.С.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.
20. РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ УСТОРОЙСТВ ДЛЯ СРЕДСТВ СВЯЗИ СО ВСТРОЕННЫМИ СИСТЕМАМИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ
Стенькина М.П.
ИСОиП (филиал) ДГТУ, кафедра «Конструирование, технологии и дизайн», Шахты, Россия
21. АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.
Тарновский Д.А.
Чувашский государственный университет им И.Н.Ульянова, г.Чебоксары, Россия.
22. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ СКОРИНГА
Валиуллин А.М.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.
23. АНАЛИЗ МЕТОДА ЭХО-КОДИРОВАНИЯДЛЯ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ
Воронина П.А.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК6.
24. АНАЛИЗ ТОПОЛОГИЙ И АРХИТЕКТУР БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ
Юлдашев М.Н.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.
25. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ШАБЛОНАМ И КОНТРОЛЛЕРАМ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
М. Ю. Шаймарданов, Т. А. Соколова
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра РК9.

СЕКЦИЯ 2

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Мультимедийная ауд.278, гл. корпус МГТУ им. Н. Э. Баумана.
Начало в 10.00.

1. МОДУЛЬ СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМЕ «УМНЫЙ ДОМ»
Азябин С.В., Пашинский И.О.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.
2. ЁМКОСТНАЯ СЕНСОРНАЯ ПАНЕЛЬ ДЛЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ КОММУНИКАЦИЙ
Терентьев Д.С.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.
3. МОДУЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ
Азябин С.В., Пашинский И.О.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.
4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ
Белов Н.А., Шеин В.А.[1]
МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия, [1]ОАО «НПП «Пульсар», Москва, Россия
5. УСЛОВИЯ И МЕХАНИЗМЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СБОЕВ В ЭЛЕМЕНТАХ БИБЛИОТЕКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СБИС
Дельцов И.Л.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.
6. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ФИКСАТОР «ТИСКИ»
Денисенко Н.А.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.
7. РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ПРЕЦИЗИОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ИНДУКТИВНОСТИ
Ечеистов В.В.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.
8. ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ PIC ЧЕРЕЗ РАЗЪЕМ RS-232 ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА
Ечеистов В.В.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.
9. ИССЛЕДОВАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ФОТОРЕЗИСТОВ С УПРАВЛЯЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ
Ечеистов В.В.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.
10. ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ IBEACON К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ОБЩЕЙ НАВИГАЦИИ
Евдокимов Г. М., Василова Е. В., Ревзин Г. Г., Дельцов И. Л.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.
11. ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЕ ТРАВЛЕНИЕ В ИНДУКТИВНОЙ СВЯЗНОЙ ПЛАЗМЕ
Филиппов И.А.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.
12. QNX - ОС РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ НА АРХИТЕКТУРЕ INTEL X86
Карабашлыков Г.А.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4.

13. ИНДИКАТОР ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВИЖЕНИЯ И ГЕНЕРАЦИИ ЦВЕТА

Гормакова М.А.
ГБПОУ «Воробьёвы горы», Центр Технического Образования, Москва, Россия.
НИТУ МИСиС, Учебно-производственный центр “ARTCAD”, Москва, Россия.

14. АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Григорьев П.В.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4

15. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЕ- И ПОСТПРОЦЕССОРА ДЛЯ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Качалова А.М.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4

16. УСТРОЙСТВО АВТОФОКУСИРОВКИ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ СТАНКА ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ

Кириленко В.Д.
ГБПОУ «Воробьёвы горы», Центр Технического Образования, Москва, Россия.
НИТУ МИСиС, Учебно-производственный центр “ARTCAD”, Москва, Россия.

17. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ШАБЛОНЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СБИС

Королев Д.С.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4

18. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЬЕЗОМАТЕРИАЛОВ В ПОРТАТИВНЫХ УСТРОЙСТВАХ-ГЕНЕРАТОРАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Косенко М.А.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4

19. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Ковалев Д.Д.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4

20. АВТОНОМНЫЙ РОБОТ-ИССЛЕДОВАТЕЛЬ С МЕХАНИЗМОМ ЗАЩИТЫ ОТ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ ЛУЧЕЙ

Лапшинов С.А.
ГБПОУ «Воробьёвы горы», Центр Технического Образования, Москва, Россия. НИТУ МИСиС, Учебно-производственный центр “ARTCAD”, Москва, Россия.

21. МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ МАГНЕТРОНА НМСА-52 С ЖИДКИМ КАТОДОМ

Макарова М.В., Васильев Д.Д.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра МТ11

22. ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МЕДНОГО ПОКРЫТИЯ НА ПЛЕНКАХ ЛАВСАНА ДЛЯ ГИБКИХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Малеванная Е.И., Васильев Д.Д.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра МТ11

23. ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ИМПЕДАНСА В ОБЛАСТИ ВИХРЕТОКОВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Мефодичев П.Н., Мартьянов Е.В.
ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», Отдел НИО-12, Москва, Россия

24. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРООТВЕРСТИЙ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ МЕТОДОМ МЕХАНИЧЕСКОГО СВЕРЛЕНИЯ

Антонова Д.О., Григорьев П.В., Минин Д.С., Юндин А.С.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4

25. РЕГИСТРАЦИЯ И ПЕРВИЧНЫЙ АНАЛИЗ РЕАКЦИЙ НА БОЛЕВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ
Подорин А.А.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4
26. МОДЕЛИРОВАНИЕДВИЖЕНИЯ ПОДЛОЖКИ ПРИ ИОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКЕ ИСТОЧНИКОМИОНОВ С КОЛЬЦЕВЫМ ПУЧКОМ
Рогожин А.А., Васильев Д.Д.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4
27. РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВОГО СПИРАЛЬНОГО РЕЗОНАТОРА
Сафаров М.А.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4
28. СПОСОБ КОНТРОЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СБИС С ПОМОЩЬЮ АЦП, ПОСТРОЕННОГО НА ЛИНЕЙКЕ ИНВЕРТОРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В КАЧЕСТВЕ КОМПАРАТОРОВ
Самаев А. С.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4
29. ГЕНЕРАЦИЯ НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ МЕТОДОМ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
Сарайкин Д. С.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4
30. ЭЛЕКТРОННЫЕ ЧАСЫ НА СЕМИСЕГМЕНТНЫХ ЛАМПОВЫХ ИНДИКАТОРАХ
Щукин И.В.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4
31. ОБЗОР СИСТЕМ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ АППАРАТУРЫ
Шаламов А. В.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4
32. ЭРГОНОМИЧНОЕ УСТРОЙСТВО ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЧЕЛОВЕКА
Тавитов А.Г.
НИТУ МИСиС, Учебно-производственный центр “ARTCAD”, Москва, Россия
33. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ АНАЛОГ-ФАЗА ДЛЯ РАДИОПЕЛЕНГАТОРА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ
Солодняков А. А. ,Кулаков В.А., Авдеев А.Ю., Журков А.П.
МИЭМ НИУ ВШЭ
34. АНАЛИЗ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ПАЛУБНЫХ ИМИТАТОРОВ
Стрелков С.С.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4
35. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ
Терехов В.В., Михайличенко С.С.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4
36. ПРИМЕНЕНИЕ СТРУЙНОЙ ПЕЧАТИ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПРОВОДЯЩЕГО РИСУНКА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ В УСЛОВИЯХ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ.
Ванройе Н.К.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4
37. МАРШРУТ МАКЕТИРОВАНИЯ УСИЛИТЕЛЯ ГРОМКОСТИ СРЕДСТВАМИ ЦИФРОВОГО ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА
Вирясова А.Ю.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4

38. ПРИМЕНЕНИЕ ГРАНУЛЯРНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ СТУКТУР В КОГНИТИВНЫХ ИНФОКОММУКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ НАНОИНЖЕНЕРИИ

Умбатова М. Э., Верстов В.А.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4

39. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕСТОВОЙ СТРУКТУРЫ КОНТРОЛЯ ПРОФИЛЯ ЛЕГИРОВАНИЯ LDD-ОБЛАСТИ ПО ТЕХНОЛОГИИ КНИ С МИНИМАЛЬНОЙ ПРОЕКТНОЙ НОРМОЙ 0,25 МКМ

Яшин Г.А.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4

40. СИСТЕМА ПО ОТСЛЕЖИВАНИЮ НАПОЛНЕННОСТИ МУСОРНЫХ БАКОВ И АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРА МУСОРА

Колесников М. А., Вождаев А., Феофантов К.В., Юдин А.В.
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия.

41. РАЗВИТИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

Юлдашев М.Н.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4

42. ОСОБЕННОСТИ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕКА ПРОТОКОЛОВ ZIGBEE

Зимин Д.В.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4

43. МИКРОФЛЮИДНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ НА ЧИПЕ

Зверев А. В.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4

44. АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ШИФРОВАНИЯ IDEA

Кадрилеев Н.М.
МГТУ им. Н. Э.Баумана, кафедра ИУ4

СЕКЦИЯ 1

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Читальный зал преподавателей (ауд.229), гл. корпус МГТУ им. Н. Э. Баумана
Начало в 10.00.

БИБЛИОТЕКА МЕТОДОВ НАСТРОЙКИ СВОБОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ

Агасиев Т.А.
Научный руководитель: д.ф-м.н., доцент, Карпенко А.П.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра РК-6, Москва, Россия

THE LIBRARY OF AUTOMATED PARAMETER TUNING METHODS FOR OPTIMISATIONALGORITHMS

Agasiev T. A.
Supervisor: Dr., Prof., KarpenkoA.P.
Moscow, RussiaMSTU

Аннотация
В статье предложен подход к организации процесса мета-оптимизации с использованием библиотеки методов настройки. Рассмотрены способы решения задачи мета оптимизации, обозначены цели дальнейших исследований. Описан принцип работы библиотеки и разработан прототип, содержащий простой метод настройки. Исследована эффективность использования библиотеки для настройки свободных параметров метода роя частиц(PSO)при решении тестовых оптимизационных задач различных классов.

Abstract
This article proposes an approach of meta-optimization process organization using the parameter tuning library. According to related work and ways of solving meta-optimization problem, main purposes of future researches were described. Prototype of the library with simple tuner was implemented. For the library efficiency investigation PSO method have been chosen as test case, which parameters was tuned for solving various types of benchmark optimization problems.

Введение

Процесс оптимизации может требовать огромных вычислительных ресурсов из-за сложности современных инженерных изделий. Высокие темпы развития технологий подразумевают разработку и использование наиболее современных и сложных алгоритмов оптимизации. Эффективность решения конкретной задачи также зависит от правильной настройки используемого алгоритма. Автоматизированная настройка алгоритмов позволяет инженерам использовать весь потенциал современных методов оптимизации без помощи специалистов в области оптимизации. Задача оптимальной настройки алгоритма называется задачей мета-оптимизации.

В статье рассматривается способ решения задачи мета-оптимизации с использованием универсальной расширяемой библиотеки методов настройки параметров. Для пользования библиотекой не требуется модификации используемого метода оптимизации и специальных знаний в области мета-оптимизации. Такой подход позволяет сделать современные методы настройки доступнее для пользователей и увеличить эффективность решения оптимизационных задач.

Постановка задачи мета-оптимизации

Большинство современных алгоритмов оптимизации имеют свободные параметры, позволяющие настраивать эти алгоритмы. Совокупность свободных параметров алгоритма называют его *стратегией*. Правильный подбор значений параметров алгоритма может значительно улучшить его эффективность при решении той или иной задачи оптимизации. Возникает задача поиска оптимальной стратегии алгоритма, процесс решения которой называют *мета-оптимизацией*. Настраиваемый алгоритм оптимизации называют *базовым*, а настраивающий алгоритм - *мета-алгоритмом*.

В работе [1] приведена постановка задачи мета-оптимизации. Обозначим рассматриваемый класс оптимизационных задач $\Phi = (\phi_i, i = 1, 2,$. Пусть $a($ - базовый алгоритм, решающий задачи класса , где $B = (b_1, b_2, \ldots, b_|$ - вектор параметров этого алгоритма. Положим, что определено множество допустимых стратегий алгоритма в виде параллелепипеда . Множество определяет совокупность алгоритмов

$$A = \{a(B) | B \in D_B\}.$$

Постановка задачи мета-оптимизации имеет следующий вид. Для класса задач найти стратегию которая обеспечивает минимальное значение целевой *мета-функции* $\mu(\Phi,$:

$$\min_{B \in D_B} \mu(\Phi, B) = \mu(\Phi, B^*).$$

Так как мета-оптимизация ведется в пространстве свободных параметров базового алгоритма, производительность базового алгоритма с некоторой стратегией называют производительностью данной стратегии.

Используем следующие показатели производительности:

– наилучшее найденное значение целевой функции;
– среднее число итераций;
– SR (successrate) – производительность стратегии определяемая числомуспешных запусков настраиваемого метода с данной стратегией.

Также можно оценить устойчивость стратегии к вариациям решаемых оптимизационных задач. Использование устойчивых стратегий позволяет получить стабильные показатели производительности базового алгоритма и увеличить его надежность [2].

Способы организации процесса настройки параметров

Выделяют две основные цели настройки параметров [2]. Первой является нахождение оптимальной стратегии алгоритма, при которой его производительность будет максимальна для рассматриваемого класса задач. За это отвечает *интенсификационная* составляющая поиска. Вторая цель - получение объективной информации о поведении алгоритма для более глубокого его понимания, изучения устойчивости стратегий алгоритма к вариациям базовой задачи. Для этого требуется исследование пространства поиска мета-задачи оптимизации. В таком случае говорят о *диверсификационной* составляющей поиска.

Суть работы мета-оптимизатора заключается в подборе стратегии настраиваемого алгоритма перед решением оптимизационной задачи и получении показателей производительности данной стратегии. Таким образом, в процессе эксплуатации базового алгоритма происходит исследование пространства его параметров. На основании собранной информации отыскивается наиболее эффективная стратегия для решения задачрассматриваемого класса.

В работе [3] рассмотрен один из способов организации процесса настройки параметров. Для централизованного сбора информации производительности стратегий предложена трехзвенная клиент-серверная архитектура.На клиентской части работает пользовательская программа, использующая метод оптимизации, который имеет свободные параметры. Перед запуском процесса оптимизации решаемой задачи, клиент запрашивает у сервера стратегию, оптимальную для данного класса оптимизационных задач. Сервер при помощи генетического алгоритма выбирает оптимальную стратегию и отправляет ее на тестирование клиенту. При этом пользователь должен указать особенности решаемой задачи. По этим особенностям сервер определяет класс задачи при помощи самоорганизующейся карты Кохонена. Кластеризация задач требует наличия априорной информации об их свойствах(константа Липшица, число локальных экстремумов и т.д.). Такой подход улучшает качество найденных эффективных стратегий, но определение особенностей решаемых задач является достаточно сложной проблемой.

Недостатки предложенного подхода заключаются в следующем:

– от пользователя требуется наличие априорной информации о решаемой оптимизационной задаче;
– привязка к клиент-серверной архитектуре требует стабильного подключения к серверу приложений и увеличивает время отклика мета-оптимизатора;
– вся вычислительная нагрузка ложится на сервер приложений. Высокие требования к его надежности повышают стоимость оборудования и затраты на поддержку работоспособности.

Библиотека методов настройки призвана избавить пользователя от привязки к архитектуре системы. Пользователю предоставляется свобода организации взаимодействия мета-алгоритма и настраиваемого алгоритма. К примеру, данная библиотека может использоваться на сервере предприятия для централизованного сбора информации или в автономных системах для индивидуальной настройки под узкий круг решаемых задач. В первом случае целесообразно использовать общую базу данных, но производить вычисления можно как на сервере, так и распределенно, когда библиотека работает на клиентских машинах.

Проблема классификации решаемых задач для разделения процесса настройки решается в данном случае следующим образом. Пользователь библиотеки сам выбирает способ классификации при помощи указания специального тега при вызове библиотечной функции. Тег позволяет задать уникальное имя для набора задач, которые пользователь хочет выделить в отдельный класс. Для автоматизации формирования тега библиотека будет сопровождаться специальной программой. Осмысленный выбор тега упростит повторное использование накопленной информации о запусках настраиваемого алгоритма при решении некоторого класса оптимизационных задач.

Исходя из вышесказанного, можно сформулировать требования к конечному продукту и обозначить основные проблемы.

– учет возможностей вычислительной системы при выборе метода настройки.
– гибридизация методов настройки и многокритериальная мета-оптимизация.
– использование всей информации о предыдущих запусках базового алгоритма для формирования оптимальных стратегий.
– реагирование на возможные изменения состава класса задач, для которых производится настройка.

Вычислительный эксперимент

Для обеспечения кроссплатформенности и максимальной совместимости прототип библиотеки реализован для платформы *Java*. На данном этапе отработано взаимодействие библиотеки с базой данных запусков алгоритма и проведена настройка для различных классов оптимизационных задач.

Библиотека использовалась для настройки свободных параметров метода *PSO*: веса когнитивной, социальной и инерционной составляющих. Был выбран простой и относительно эффективный метод настройки – метод локальной унимодальной выборки (*LUS*) [4]. Из-за высокой вычислительной сложности исследования, в качестве показателя производительности стратегии использовалось найденное значение целевой функции за 1000 итераций. Запуски проводились с использованием библиотеки и без нее(с рекомендуемыми параметрами).

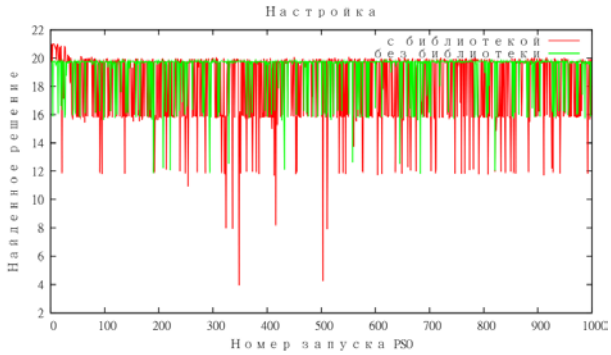


Рис. 1. Оптимизация 30-мерной функции Экли

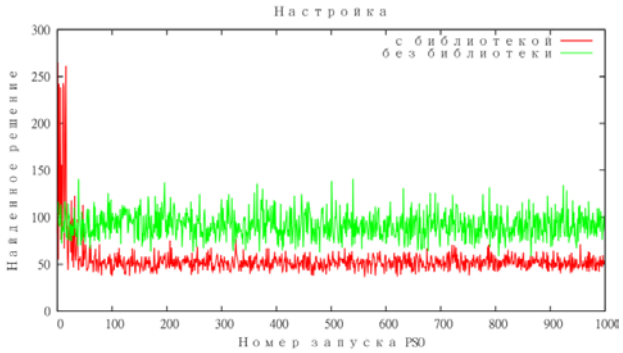


Рис. 2. Оптимизация 30-мерной функции Растригина

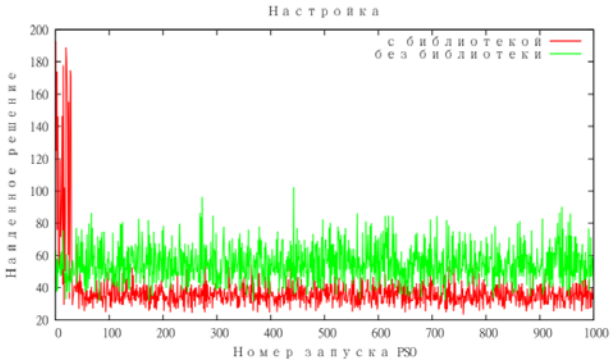


Рис. 3. Оптимизация поочередно 30-мерной функции Экли и 30-мерной функции Растригина (tag "Ackley-Rastrigin")

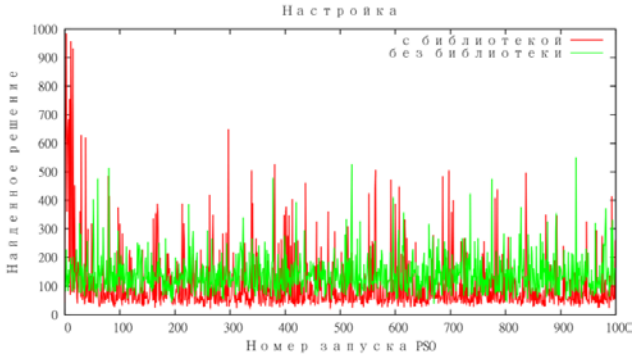


Рис. 4. Оптимизация поочередно функций: сферической, Розенброка, Экли и Растригина

На рисунках 1-2 изображены графики зависимости целевой мета-функции от порядкового номера запуска *PSO*. Из рисунков можем видеть, что использование библиотеки позволяет улучшить работу метода *PSO* после 50-100 запусков с библиотекой.

Как говорилось ранее, тег позволяет производить настройку для класса задач, включающего различные типы оптимизируемых функции. Примеры результаты расчетов при оптимизации различных наборов тестовых функций изображены на рисунках 3-4.

Заключение

В работе выполнено исследование эффективности применения библиотеки методов настройки параметров для улучшения производительности метода PSO. Реализована базовая версия библиотеки, включающая алгоритмы взаимодействия с базой данных, простой метод настройки LUS и некоторые вспомогательные функции для мониторинга процесса настройки. Проведена подготовка к расширению списка доступных методов настройки.

Получены показатели эффективности с использованием библиотеки и без нее. Результаты исследования показывают целесообразность внедрения предложенных программных решений для увеличения производительности алгоритмов оптимизации.

Литература

1. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: учебное пособие / А. П. Карпенко. — Москва: Издательство МГУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 446 с.
2. Smit S.K. Parameter tuning and scientific testing in evolutionary algorithms. – VrijeUniversiteit, 2012. Available at: http://dspace.ubvu.vu.nl/bitstream/handle/1871/38404/dissertation.pdf, accessed 15.01.16.
3. Карпенко А.П., Свианадзе З.О. Метод мета-оптимизации поисковых алгоритмов оптимизации // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронный журнал. 2011. №01. С. 1-36.DOI10.7463/0111.0164546
4. Pedersen M.E.H. Tuning & simplifying heuristical optimization. Diss. University of Southampton, 2010.Available at: http://eprints.soton.ac.uk/342792/1.hasCoversheetVersion/MEH_Pedersen_PhD_Thesis_2010.pdf, accessed 15.01.16.

ОБУЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ, АНИМАЦИИ, АНАЛИЗУ В ПРОГРАММЕ CAD ПОД УПРАВЛЕНИЕМ ПРОГРАММЫ PLM

Бочаров В.А., Брайловский Т.Ю., Елфимов В.Т., Козов А.В.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Оглоблин Д.И.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра РК6, Москва, Россия

TEACHING GEOMETRIC MODELING, ANIMATION, ANALYSIS IN A CAD PROGRAM THAT IS MANAGED BY PLM

Bocharov V.A., Brailovsky T. J., Elfimov V.T., Kozov A.V.
Supervisor: candidate of technical Sciences, associate Professor Ogloblin D. I.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация
Авторами разработан курс лабораторных работ по освоению программы геометрического моделирования Компас 3D, в котором процесс проектирования рассмотрен как составная часть более сложного процесса, составляющего жизненный цикл промышленных изделий. Для управления инженерными данными в жизненном цикле выбрана программа Лоцман: PLM. Произведена адаптация программы PLM под задачи курса, определены направления обучения проектированию с позиций PLM, выбраны и интегрированы в процесс обучения программы анализа разработанных конструкций, модуль анимации технологических процессов.

Abstract
The authors have developed a course of laboratory work on the development geometrical modeling program the Compass-3D in which the design process is considered as an integral part of a more complex process comprising the lifecycle of industrial-age products. Engineering data management in the life cycle of the selected program Loodsman:PLM. Produced adaptation of the program under PLM course objectives, identified areas of training design from the standpoint of PLM, selected and integrated with us in the learning process of the analysis program developed structures, modules, animation of technological processes.

Введение

Программа PLM в промышленности обеспечивает управление трехмерными моделями, чертежами, конструкторскими спецификациями («как спроектировано»), расчетными моделями, управляющими программами для станков с ЧПУ, технологическими спецификациями («как запланировано в производство»), производственными составами («как изготовлено»), эксплуатационными составами («как сопровождается»), данными, описывающими проведение регламентных работ, эксплуатационными и многими другими документами [1]. Программа PLM формирует структуру папок, категории прав для обращения к ним, оперирует такими понятиями как item (его номер и имя), варианты (ревизии) во временном и количественном измерении, модификации и конфигурации и многое другое. В основе решения этой сложной задачи лежит 3D модель изделия [2].

Обучение в связке программ Компас-3D – Лоцман: PLM

Для обучения навыкам работы с программой PLM была выбрана программа Лоцман: PLM , благодаря достаточной для лабораторных работ функциональности, приемлемой стоимости и российской принадлежности. Ее разработчик - фирма Аскон (Россия), тот же, что и производитель программы Компас-3D.

Программа Лоцман: PLM [4] используется в данной работе для управления проектированием (CAD), подготовки исходных данных для проведения расчетов и хранения результатов (CAE), хранения результатов визуализации процесса сборки (CAM), знакомства студентов с процессами взаимодействия исполнителей при параллельном проектировании и процессами защиты информации.

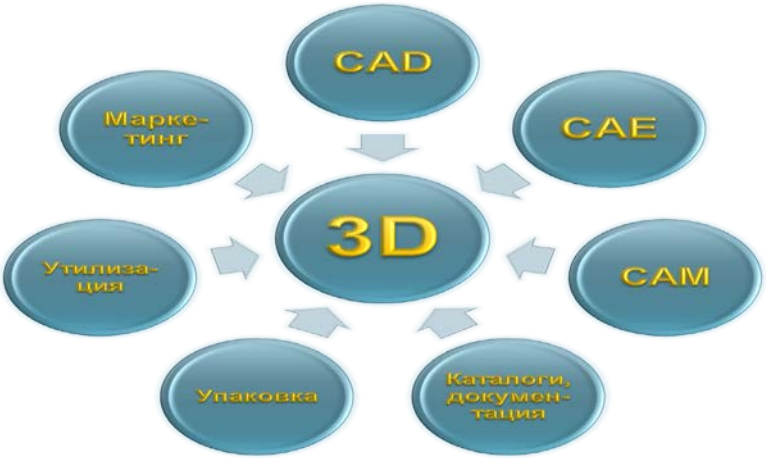


Рис. 1. Параллельное проектирование на основе 3D-модели

3D модель является основой для остальных этапов жизненного цикла и позволяет организовать их параллельное выполнение. Сборка уточняется в процессе временных стадий проектирования, таких как аванпроект, эскизный проект, технический проект, на котором проводятся все основные расчеты, и рабочее проектирование, на котором выпускается необходимая конструкторская документация [3].

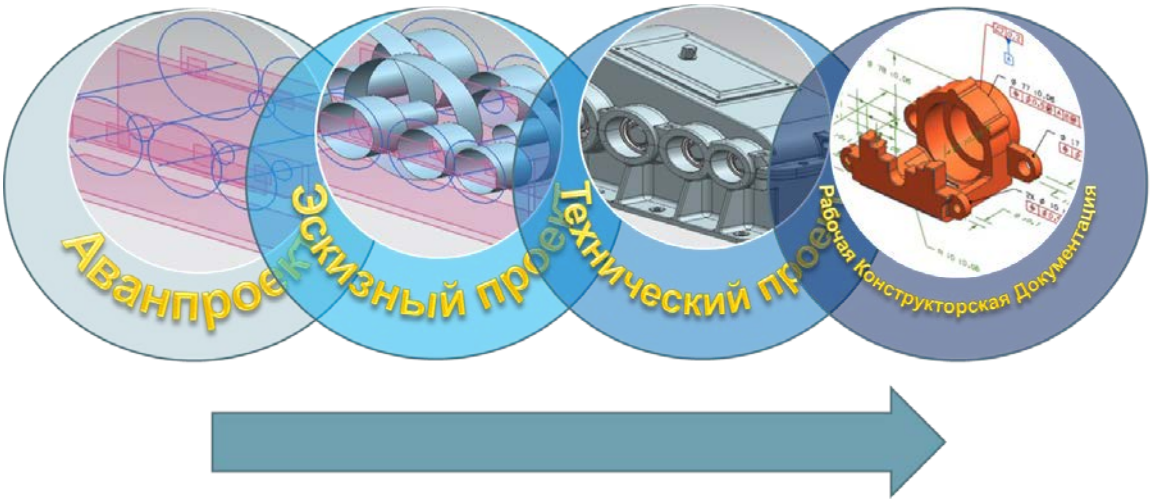


Рис. 2. Этапы проектирования (работы с 3D моделью)

Ознакомление с интерфейсом, обучение проектированию в программе Компас-3D происходит в процессе формирования 3D моделей из примитивов стандартными операциями протягивания, вращения. Чертежи получаются в результате проецирования 3D модели, а сборка как результат объединения деталей, выполняемых в рамках некоторых технологических процессов, то есть «снизу – вверх».

После некоторого овладения интерфейсом, акцент сделан на разработке более сложной сборки по технологии «сверху-вниз» на основании существующего в каждый момент времени контекста некоторого проектируемого изделия. Исходя из предварительной компоновки, вводятся понятия контрольных структур, электронного макета изделия, рабочих структур, ответственных исполнителей и обеспечивается параллельная работа трех конструкторов. Взаимодействие исполнителей обеспечивается в рамках бизнес-процесса параллельного проектирования [3], созданного в программе Лоцман:PLM.

При способе проектирования «сверху-вниз» инженер сразу видит будущее изделие, имеет возможность оценить его, провести ее анализ на предмет пересечений деталей, определения зазоров и работоспособности всего механизма в целом, еще до его изготовления. Если существует организационная возможность использования 3D модели в

качестве подлинника, стадия разработки чертежа вообще опускается, а при помощи программ подготовки производства производится генерация машинных кодов для станков с ЧПУ, на которых изготавливается конечное изделие. Если необходимы чертежи, то в полуавтоматическом режиме и с минимальными трудозатратами выпускаются проекции 3D и спецификации.

В области анализа программа Лоцман:PLM создает веточку в дереве проектирования, в которой указывается ссылочный объект, его необходимый для анализа формат, задание в виде переменных, приложенных сил при проведении расчетов, использованную программу расчетов и результаты расчетов в виде эпюр напряжений. Для демонстрации примера анализа выбрано приложение к программе Компас-3D – APM FEM, в котором произведен анализ несложной конструкции по методу конечных элементов на основании исходных данных и получены рекомендации по выбору конструкционных материалов. В работе, прежде всего, акцентировалось внимание на последовательности действий при обращении к программе конечно-элементного анализа.

Следующее учебное задание – это анимация процессов сборки изделия, технического обслуживания, составление справочных материалов и технических руководств. Для решения всех этих задач в Компасе-3D имеется продукт – библиотека анимации, опыт работы с которой и предлагается приобрести. Вся разработанная документация сохраняется в структуре папок программы Лоцман:PLM, обеспечивающей доступ к материалам на основании ролей исполнителей, защиту от копирования и уничтожения файлов.

Заключение

Кроме освоения программы геометрического моделирования Компас-3D, целью обучения проектированию под управлением программы PLM является получение знаний и навыков, необходимых для быстрой интеграции студентов в современное производство, использование программных продуктов, направленных на повышение производительности труда, эффективную подготовку и управление производством, повышение качества, снижение затрат на всех этапах жизненного цикла промышленных изделий.

Литература

1. Основы автоматизированного проектирования: Учебник / под редакцией А.П. Карпенко - М.: ИНФРА-М, 2015. - 328с.
2. Жук Д.М., Князева С.Ю., Маничев В.Б., Оглоблин Д.И. Обучение бакалавров основам автоматизированного проектирования в МГТУ им. Н.Э.Баумана - Наука и образование, электронный ресурс, http://technomag.bmstu.ru/doc/819027.html, 2015.
3. Комплексные PLM решения Ланит [Электронный ресурс].- http://www.plmlanit.ru/misc/LANIT_PLM_2013.pdf (дата обращения: 10.12.2015).
4. Назарова Е.Б. Методическое пособие к программе Лоцман:PLM. – Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Технический университет), 2007. -57 стр.

МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ ТРУДОЕМКОСТИ ПРОЕКТОВ ПО МЕТОДАМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТОЧЕК (IFPUG)

Чиканчи Д.А.
Научный руководитель: канд. техн. наук, доц. Демин А.А.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

METHODOLOGIES OF THE ASSESSMENT OF LABOUR INPUT OF PROJECTS BY METHODS OF FUNCTIONAL POINTS (IFPUG)

Chikanchi D.A.
Supervisor: Ph.D. Demin A.A.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В рамках данной работы описаны методы оценки трудоемкости проектов. Обоснована актуальность проблемы. Описаны преимущества и недостатки описанных методов.

Abstract
As part of this work describes a methodology for assessing the complexity of projects. The urgency of the problem. The advantages and disadvantages described metodolgy.

Введение

В настоящее время существуют следующие проблемы при оценки трудоемкости проектов:

– Оценки трудоемкости выполнения проектов интуитивны;
– Оценка несистемна и неповторяема;
– Нет возможности измерять и контролировать производительность команды;
– Нет возможности сравнивать производительность своей команды с другими командами и средними показателями по отрасли;
– Существует проблема «защиты» оценки перед Заказчиком;
– Значительные отклонения оценочной и фактической трудоемкости работ.
– Чтобы решить перечисленные проблемы необходимо:
– Сократить время оценки проекта (разработки);
– Повысить точность оценки проекта (разработки);
– Обеспечить возможность измерения и контроля производительности команды;
– Повысить прозрачность оценки работ для Заказчика.

Рассмотрим некоторые методы оценки трудоемкости [1, 2]:

– Экспертная оценка;
– Оценка по аналогии;
– UCP (Use Case Points);
– IFPUG (Метод функциональных точек);
– FFP (быстрые функциональных точек);
– COSMIC;
– SLOC.

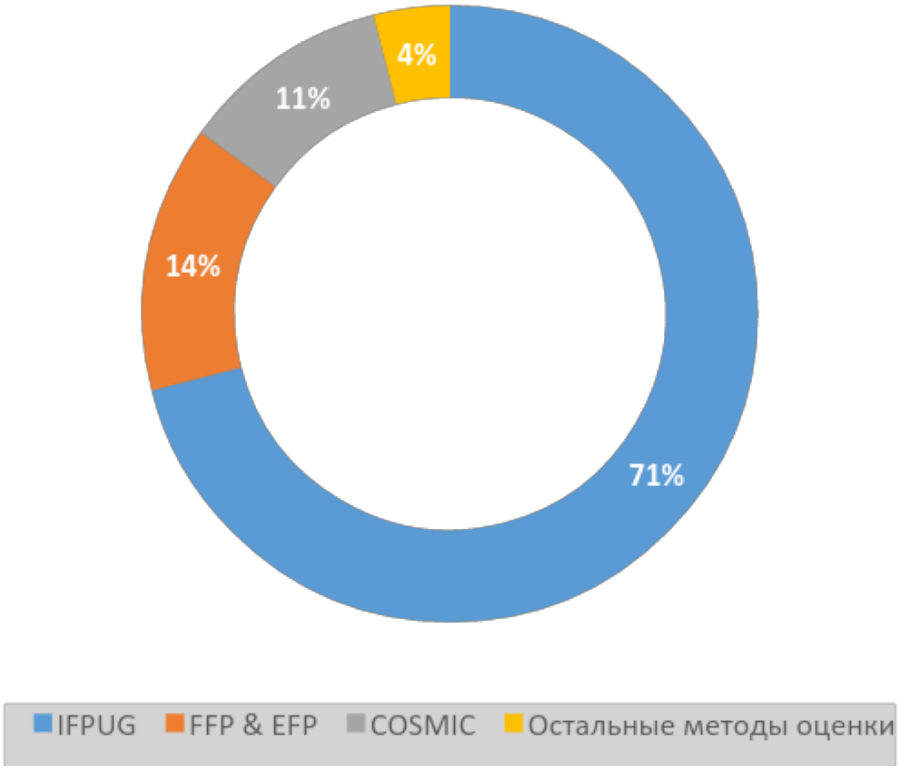


Рис. 1. – Популярность методик оценки

На рисунке 1 показано, что в настоящее время самым популярным методом оценки трудоемкости является метод функциональных точек (IFPUG).

Экспертная оценка

Методика предназначена для оценки проектов с опорой на знания и опыт экспертов. Этапы выполнения экспертной оценки:

1. Постановка цели исследования.
2. Выбор формы исследования, определение бюджета проекта.
3. Подготовка информационных материалов, бланков анкет, модератора процедуры.
4. Подбор экспертов.
5. Проведение экспертизы.
6. Анализ результатов (обработка экспертных оценок).
7. Подготовка отчета экспертного оценивания.

Преимущество данной методики является то, что она позволяет оценивать практически любые системы.

Недостатками являются высокая степень недостоверности результата, невозможность контроля оценки и как следствие – рисков, сложность защиты перед Заказчиком, сложность подбора экспертов под конкретный проект.

Оценка по аналогии

Оценка по аналогии – это получение оценки текущего проекта, на основе фактической стоимости одного или нескольких предыдущих проектов (аналогичных или исходных) близких по объему работ, сложности и содержанию.

Этапы выполнения оценки по аналогии:

1. Сбор исходной информации:
– Содержание проекта
– Историческая информация об аналогичных проектах
– Ресурсные требования
– Расценки на работу ресурсов
2. Подготовка оценки:
– Изучение специфики проекта, оценка которого производится
– Выявление похожих проектов, на основании которых можно провести оценку текущего проекта
– Перенос из проекта-аналога решения, которые позволили достичь цели при его выполнении, на целевой проект.

Преимуществами данного метода являются:

– При накоплении исторической информации растет точность и достоверность оценки;
– Подходит к проектам на ранней стадии развития;
– Высокая скорость получения относительно достоверной оценки для малых и средних проектов.
– *Недостатки*:
– Необходимо наличия исторических данных и их обработка
– Для больших проектов не подходит, так как приходится обрабатывать большое количество данных и поиск аналогов может занять достаточно продолжительное время
– Сложность защиты оценки перед Заказчиком
– Невозможность определения ориентиров для оценки эффективности работы команды

UCP (Use Case Points)

UCP – это методика оценки проектов на основе вариантов использования оцениваемой системы.

Этапы выполнения оценки по методике UCP:

– оценка акторов (дает оценку сложности интерфейсов системы);
– нескорректированная оценка вариантов использования (дает оценку масштаба системы);
– оценка технических факторов (дает коэффициент сложности архитектуры приложения);
– оценка внешних факторов (дает коэффициенты для организационных рисков при разработке).

Все действующие лица системы оделяться на три типа:

1. Простое действующее лицо представляет внешнюю систему с четко определенным программным интерфейсом (весовой коэффициент равен 1);
2. Среднее действующее лицо представляет либо внешнюю систему, взаимодействующую с данной системой посредством протокола наподобие TCP/IP, либо личность, пользующуюся текстовым интерфейсом, например, алфавитно-цифровым терминалом (весовой коэффициент равен 2).
3. Сложное действующее лицо представляет личность, пользующуюся графическим пользовательским интерфейсом (весовой коэффициент равен 3).

Преимуществами данного метода являются:

– Легко подстраивается под производительность команды или среднюю производительность по компании;
– Системность подхода к оценке проекта;
– Позволяет определить ориентиры для оценки эффективности команды
– Обеспечивает базис для защиты оценки перед Заказчиком.

Недостатки:

– Точность зависит от опыта аналитика
– Зависит от корректности коэффициента пересчета UCP в человеко-часы

Метод функциональных точек (IFPUG)

Функциональная точка – это единица измерения функциональности программного обеспечения. Она имеет содержательный смысл с точки зрения конечного пользователя и не зависит от применяемых разработчиком технологий.

Существенным преимуществом функциональных точек является то, что произвести измерение ИТ-проекта можно уже на ранней стадии, взяв за основу только документацию по проекту.

В методологии IFPUG есть различие между разработкой новой и доработкой уже существующей функциональности.

При анализе методом функциональных точек выполняется следующая последовательность шагов (рисунок 2) [3-5]:

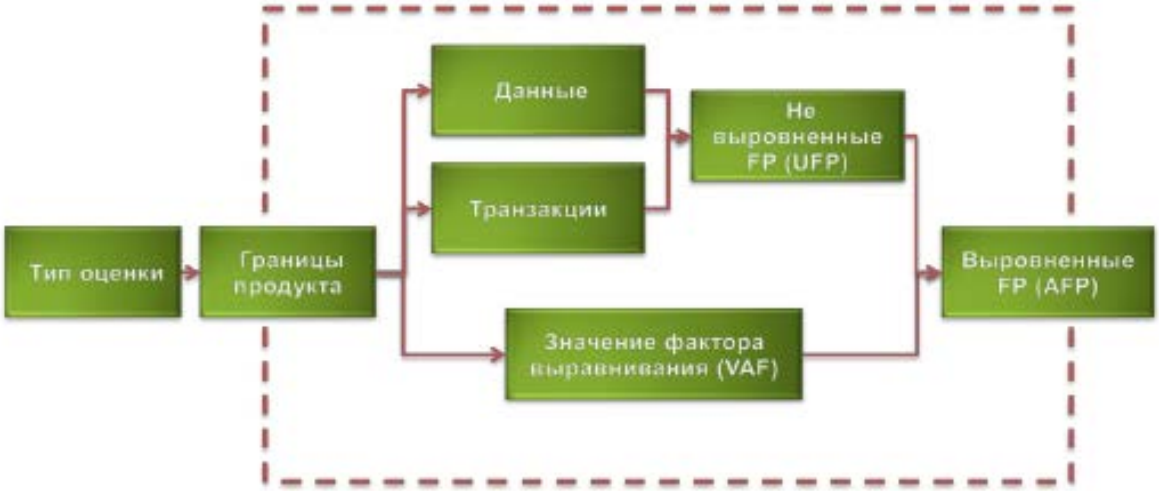


Рис. 2. Последовательность шагов в IFPUG

1. *Определение типа оценки.*

– Проект разработки
– Проект развития
– Оценка существующего программного продукта

2. *Определение области оценки и границ продукта.*

В зависимости от типа оценки, область оценки может включать:

– Для проекта разработки – все разрабатываемые функции;
– Для проекта развития – все добавляемые, изменяемые и удаляемые функции;
– Для оценки существующего программного продукта – все функции продукта или только реально используемые функции.

Границы продукта определяют:

– Что является «внешним» по отношению к оцениваемому продукту;
– Где проходит «граница системы» с точки зрения пользователя;
– Разделение данных на внутренние и внешние:
  – Внутренние логические файлы (ILFs) – выделяемые пользователем логически связанные группы данных или блоки управляющей информации, которые поддерживаются внутри продукта.
  – Внешние интерфейсные файлы (EIFs) – выделяемые пользователем логически связанные группы данных или блоки управляющей информации, на которые ссылается продукт, но которые поддерживаются вне продукта.

3. *Подсчет функциональных точек, связанных с данными;*

Определяется сложность данных по следующим показателям:

– DET (Data Element Type) – неповторяемое уникальное поле данных (например уникальный идентификатор);
– RET (Record Element Type) – логическая группа данных (например группа Фамилия – Номер телефона);
– FTR (File Type Reference) – ссылка на тип файла, который участвует в транзакции.

Изначально происходит подсчет не выровненных (нескорректированных) функциональных точек. Оценка количества не выровненных функциональных точек (UFP), зависит от сложности данных, которая определяется на основании матрицы сложности.

Оценка данных в не выровненных функциональных точках (UFP) происходит отдельно для внутренних логических файлов (ILFs) и отдельно для внешних интерфейсных файлов (EIFs).

4. *Подсчет функциональных точек, связанных с транзакциями;*

В методе различают следующие типы транзакций:

– EI (External Inputs) – внешние входные транзакции, элементарная операция по обработке данных или управляющей информации, поступающих в систему из вне.
– EO (External Outputs) – внешние выходные транзакции, элементарная операция по генерации данных или управляющей информации, которые выходят за пределы системы. Предполагает определенную логику обработку или вычислений информации из одного или более ILFs.
– EQ (External inQuiries) – внешние запросы, элементарная операция, которая в ответ на внешний запрос извлекает данные или управляющую информацию из ILF или EIF.

5. *Определение суммарного количества не выровненных функциональных точек (UFP);*

Общий объем продукта в не выровненных функциональных точках (UFP) определяется путем суммирования по всем информационным объектам (ILF, EIF) и элементарным операциям (транзакциям EI, EO, EQ).

$$UFP = \sum_{ILF} UFPi + \sum_{EIF} UFPi + \sum_{EI} UFPi + \sum_{EO} UFPi + \sum_{EQ} UFPi$$

6. *Определение значения фактора выравнивания (VAF);*

VAF – Корректирующий фактор сложности доработки/разработки позволяет учесть специфику работ по реализации отдельной доработки и/или разработки при формировании окончательной оценки числа не выровненных функциональных точек.

VAF – определяется на основании оценки четырнадцати формализованных параметров степени влияния (Degree of Influence. DI). Каждый параметр оценивается по шкале от 0 до 5, где 0 отсутствие влияния на работу, а 5 – максимальное влияние на работу.

Итоговое значение VAF вычисляется:

$VAF = (\sum^{1}_{14} DI * 0{,}01) + 0{,}65$

7. *Расчет количества выровненных функциональных точек (AFP).*

Дальнейшая оценка в выровненных функциональных точках зависит от типа оценки:
Проект разработки оценивается в DFP (development function points) по формуле:

DFP = (UFP + CFP) * VAF,

где CFP (conversion functional point) — функциональные точки, подсчитанные для дополнительной функциональности, которая потребуется при установке продукта, например, миграции данных.

Проект развития оценивается в EFP (enhancement functional point) по формуле

EFP = (ADD + CHGA + CFP) * VAFA + (DEL* VAFB),

где

ADD — функциональные точки для добавленной функциональности;

CHGA — функциональные точки для измененных функций, рассчитанные после модификации;

VAFA — величина фактора выравнивания рассчитанного после завершения проекта;

DEL — объем удаленной функциональности;

VAFB — величина фактора выравнивания рассчитанного до начала проекта.

Существующий программный продукт оценивается в APF (application function points)

AFP = UFP * VAF,

При этом учитываются все добавляемые, изменяемые и удаляемые функции;

Таким образом *преимуществами* данной методики являются:

– хорошо систематизированный подход оценки, использующий конечный набор формализованных критериев;
– высокая точность оценки;
– хорошо подходит для стандартных информационных систем;
– упрощает «защиту» оценки перед Заказчика;
– обеспечивает возможность контроля эффективности команды;
– различает проекты на разработку и доработку ПО.

Недостатками являются:

– большая продолжительность процесса оценки
– необходимы глубокие знания о системе
– плохо применима в проектах с большим объемом «бюрократических» процедур со стороны Заказчика (длительные согласования и т.п.);
– плохо применима в проектах с часто (и кардинально) изменяющимися требованиями, и в проектах с изначально плохо детерминированными требованиями.

Метод быстрых функциональных точек (FFP)

Методология не делает различий между проектами разработки новой и проектами по доработке существующей функциональности.

Этапы процедуры вычисления функциональных точек:

1. Определение границ системы
2. Выявление функциональных точек:

− Входы (Любые представления, предназначенные для ввода информации в систему или ее изменения)

− Выходы (Экранные формы, отображающие данные или статический текст, отчеты)

− Таблицы (следует воспринимать как «объект данных»)

− Интерфейсы (Формат данных, который участвует в информационном обмене, преобразовании данных)

− Сообщения (любая транзакция, которая пересекает границы системы

3. Вычисления коэффициента VAF (вычисляется также как в IFPUG)
4. Вычисление не выровненных функциональных точек согласно таблице преобразования (Таблица 1).

Таблица 1. Коэффициенты приведения к не выровненным функциональным точкам

№	Тип функциональной точки	Коэффициент (Ki)
1	Вход	4
2	Выход	5
3	Таблица	10
4	Интерфейс	7
5	Сообщение	4

Отклонение от IFPUG – в пределах +/-10%.

Согласно данным Gardner, средняя производительность разработчика по отрасли, в год – 403 FP. Среднее по отрасли время на разработку 1 FP – 3,5 часа.

Корреляция функциональных точек с объемом написанного кода.

Показатель FP поддерживает преобразование в SLOC (Source Lines of Code). Преобразование в самые распространенные языки приведено в таблице 2.

Таблица 2. Преобразование в самые распространенные языки

Язык программирования	Значение SLOC из расчета на одну FP
Macro Assembler	320
C	128-150
C++	53
BASIC	64
Pascal	91
Delphi	29
Java	53
JavaScript	56
PL/SQL	46

Таким образом *преимуществами* данной методики являются:

– Хорошо систематизированный метод оценки, использующих конечный набор формализованных критериев;
– Универсальная оценка для стандартных информационных систем и проектов средней длительности;
– Хорошо подходит для проектов с большим числом небольших и средних задач;
– Позволяет упростить «защиту» оценки перед Заказчиком;
– Обеспечивает возможность контроля эффективности команды;
– Значительно сокращает период оценки работ без значительной деградации точности оценки.

Недостатками являются:

– Имеет тенденцию к недооценке работ для крупных и длительных проектов (от 6 месяцев);
– Имеет тенденцию к переоценке работ применительно к коротким (менее 1-2 чел*дней) и сверхкоротким (менее 1 чел*дня) задачам;.
– Нет различия между проектами на разработку и доработку;
– Плохо применима в проектах с большим объемом «бюрократических» процедур со стороны Заказчика (длительные согласования и т.п.);
– Плохо применима в проектах с часто (и кардинально) изменяющимися требованиями, и в проектах с изначально плохо детерминированными требованиями.

Заключение

Таким образом видно, что методы оценки трудоемкости по функциональным точкам и быстрым функциональным точкам позволяют повысить точность оценки проекта, обеспечить возможность измерения и контроля производительности команды разработчиков, повысить прозрачность оценки работ для Заказчика.

Литература

1. Методология функциональных точек – Описание методологии [Электронный ресурс]. URL: http://www.ifpug.org/about-ifpug/about-function-point-analysis (дата обращения 26.11.2015).
2. Статистика по методологии функциональных точек от Gardner, предоставленная BellIntegrator.
3. Азоев Г.Л., Белозерова Н.В., Борисова М.К. и др. ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА НАЦИОНАЛЬНОЙ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ Сборник аналитических материалов - Москва. Национальный исследовательский центр Курчатовский институт, 2011. Том 1. 83 с.
4. Аверьянихин А.Е., Азоев Г.Л., Аршинов К.К. и др. ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА НАЦИОНАЛЬНОЙ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ: Сборник аналитических материалов - Москва. Национальный исследовательский центр Курчатовский институт, 2011. Том 2. 79 с.
5. Балаян А.А., Власов А.И., Демидов А.В. и др. ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА НАЦИОНАЛЬНОЙ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ: Сборник аналитических материалов - Москва. Национальный исследовательский центр Курчатовский институт, 2011. Том 3. 111 с.

Работа выполнена при частичной поддержке Гранта РФФИ № 16-37-00040\16 в рамках программы «Мой первый грант»

ОБЗОР МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ШАГАЮЩИХ РОБОТОВ

Чернышов Н.С.
Научный руководитель: к.т.н., доцент, Трудоношин В.А.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедр РК, Москва, Россия

REVIEW OF OPTIMIZATION METHODS FOR MOVEMENT OF WALKING ROBOTS

Chernyshov N.S.
Supervisor: PhD., Trudonoshin V.A.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье рассмотрены популярные алгоритмы и методы для оптимизации движения шагающих роботов. Рассмотрены основные проблемы, приведены результаты применения алгоритмов и методов оптимизации.

Annotation
The article describes the popular algorithms and methods for optimization movement of walking robots. The main problems discussed, and the results of algorithms and optimization methods presented.

Введение

В робототехнике оптимизация движения роботов является одной из важнейших задач. В настоящее время применяются различные методы и алгоритмы для решения данной задачи. В статье приведен обзор популярных методов и алгоритмов для оптимизации движения роботов.

1 Оптимизация шагающего шестиногого робота алгоритмом роя частиц

Работа [1] основывается на предыдущих исследованиях и разработке нескольких шестиногих роботов, а так же их имитационных моделей. Последняя модель называется *Szabad(ka)-II* – сложное многопроцессорное устройство, управляемое сервоприводами. Параллельно созданию шестиного робота велась разработка имитационной модели, которая нужна для оптимизации конструкции робота, его передвижения и управления. Задача оптимизации передвижения робота сводится к оптимизации алгоритмом роя частиц (*The Particle Swarm Optimization* (*PSO*)) [1 - 4], который выбран из-за его простоты и эффективности.

Математическая модель робота учитывает: динамические свойства, контакт с поверхностью, взаимодействия механизмов и соединений, как в модели сервомоторов, так и в модели электронных компонентов. Оптимизация движения робота выполняется на основе оптимизации некоторой целевой функции. Целевой функцией могут быть следующие показатели или их комбинации: максимальная скорость передвижения с наименьшими энергетическими затратами; минимальные моменты на соединениях и в шестернях; минимальные ускорения тела робота по всем осям.

Из рисунка 1 видно, что при оптимизированной целевой функции значение скорости передвижения по оси X более равномерно.

В работе [1] показано, что результаты полученные методом роя частиц (*PSO*), лучше, чем результаты, полученные при ранее подобранных параметрах. Однако эти результаты не дают глобального оптимума. Если запустить оптимизационный процесс несколько раз, то алгоритм выдает разные результаты.

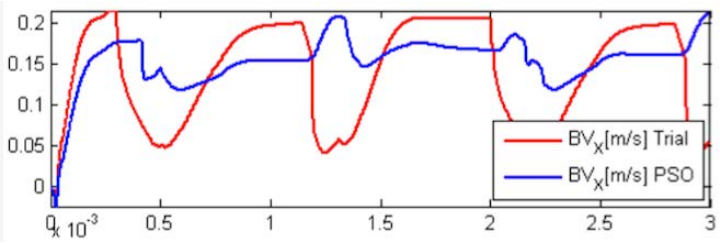


Рис. 1. Моделирование передвижения при подобранных (*Trial*) и оптимизированных(*PSO*) значениях скорости(*BV*) вдоль оси *X* [1]

2 Робот сконструированный для космических полетов с применением эволюционных вычислений

В работе [5] описана обучаемая система, которая использует эволюционную стратегию преобразования ковариационной матрицы (*Covariance Matrix Adaptation - Evolution Strategy* (*CMA-ES*)). Метод одновременно оптимизирует строение и перемещения шагающего робота.

Эволюционная стратегия преобразования ковариационной матрицы - это улучшенная версия эволюционной стратегии, которая может быть эффективной даже при небольших размерах популяции.

Шестиногий робот имеет высоту около 50 сантиметров и длину около 80 сантиметров. Вес робота со всеми элементами, включая аккумуляторные батареи, составляет около 20 килограммов. В работы [5] описывается процесс настройки управляемых параметров (набор параметров, влияющих на структуру робота и траекторию передвижения робота), которые далее будут оптимизированы. Цель проекта [5] заключается в конструировании шагающего робота, который будет способен спускаться и подниматься из кратера.

Целевая функция основывается на параметрах дистанция перемещения (*d*), средний момент (τ), средняя нагрузка на соединения (*l*), бинарный индикатор касания с землей (g), центр масс робота (m_c^{out}) и имеет следующий вид:

$$fitness = \frac{-\tau}{d} + \frac{-l}{d} - 1000g - m_c^{out}, \quad (1)$$

Первое слагаемое выражения (1) определяет энергетическую эффективность. Второе слагаемое базируется на нагрузках в соединениях по пройденной дистанции. Третье слагаемое проверяет, какая часть робота, кроме ступней, коснулась земли, если коснулась, то в целевую функцию вносится большое отрицательное значение. Последнее слагаемое определяется периодом временем, в течение которого центр масс робота находился вне стабильной точки (стабильная точка рассчитывается из треугольника, образованного точками касания ступней робота).

На рисунке 2 отображено среднее значение целевой функции для всех эволюций. В работе [5] из эволюций было найдено большое число возможных решений с хорошим сочетанием структуры и значений управляемых параметров для перемещения. В итоге, результирующая конфигурация робота в состоянии пройти все заданные для нее тесты.

3 Независимая эволюция динамического движения в двух четырехногих роботах

В статье [6] описана система независимой эволюции динамического движения (*autonomously evolving dynamic gaits*), которая применялась на двух четырехногих роботах *Sony*. Роботы проходили три стадии тестирования для оценки своей производительности. Для оптимизации применялся эволюционный алгоритм (*Evolutionary Algorithm*). Эволюционный алгоритм запускается на роботе и использует сенсоры робота для вычисления качества движения.

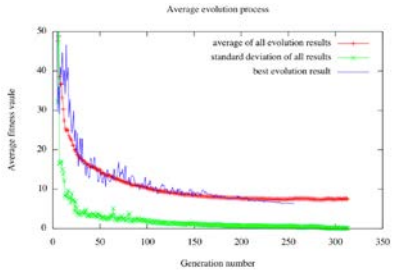


Рис. 2. Среднее значения целевой функции эволюционного процесса и стандартное среднее значение отклонения [5]

В работе [6] проводились различные эксперименты с роботом *OPEN-R* и *ERS-110*.

Эволюционный алгоритм в состоянии улучшить рысканье движения и темп. Рисунок 3 отображает лучшее значение целевой функции для этих параметров.

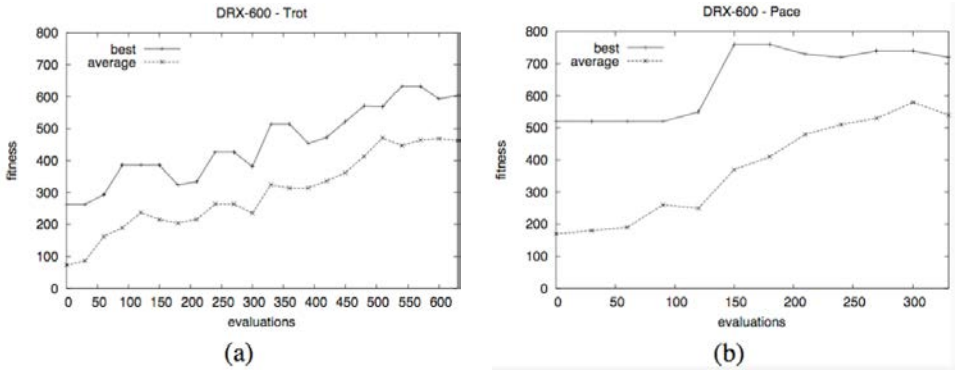


Рис. 3. Результаты для прототипа *OPEN-R*: (*a*) темп, (*b*) рысканье [6]

После 330 эволюций робот *OPEN-R* достиг максимальной скорости в 1020 сантиметров в минуту.

В работе [6] использовалась автономная система движения, с применением эволюционного алгоритма, запущенная на двух роботах с использованием сенсоров. Автономная система движения способна улучшить свою собственную производительность. Исследована возможность запуска эволюционного алгоритма на реальном роботе.

4 Постоянное преобразование «состояние-действие» для роботов с большим числом степеней свободы с применением экстремального машинного обучения

В работе [7] представлен метод предварительной оптимизации траектории и сжатия информации для получения компактного представления оптимальной стратегии (*optimal policy function*). Вычисления должны быть выполнены на мощных компьютерах или даже на супер-компьютерах. Предварительно рассчитанная траектория хранится в нейронной сети (*Single—hidden Layer Feedforward neural Network (SLFN))* с применением экстремального машинного обучения (*Optimally Pruned Extreme Learning Machine* (*OP-ELM*)). Это гарантирует минимальное представление модели и быстрое вычисление *SLFN*. Демонстрируется работа метода на модели четырехногого робота с 18 степенями свободы.

Работа [7] заключается в разработке новой стратегии для расположения ног робота, которая будет более устойчива к возмущениям. Для данной задачи было выбрано движение робота рысью. Шаблон передвижения определяет время контактов ног робота с поверхностью, и виртуальная модель управления стабилизирует тело. Результаты оптимизации показаны на рисунке 4. В верхнем ряду показано движение с оптимизированной стратегией, в нижнем – с исходной, которая приводит к падению робота.

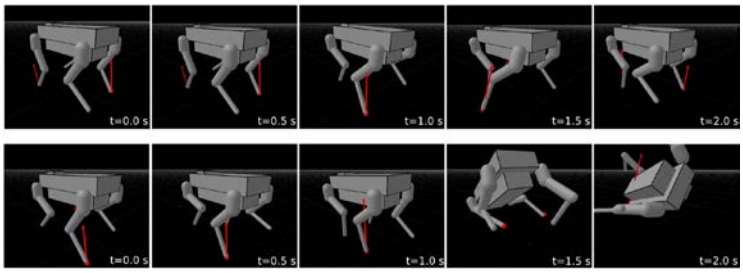


Рис. 4. Представление *StarlETH* модели с оптимизированной стратегией управления (сверху) и стандартной стратегий управления (снизу) [7]

В работе [7] представлен метод сжатия оптимизированной траектории и применение сжатой оптимизированной траектории на модели четырехногого робота. Данный метод позволяет использовать более точные модели для оптимизации.

Заключение

Методы и алгоритмы для оптимизации передвижения робота успешно применяются при конструировании роботов. Оптимизация позволяет достичь более устойчивого передвижения при большей скорости и меньших затратах.

Литература

1. István Kecskés, Ervin Burkus, Péter Odry. Swarm-Based Optimizations in Hexapod Robot Walking. Obuda University, Budapest, Hungary, May 2014. 123 с.
2. Jeong-Jung Kim and Ju-Jang Lee. Adaptation of Quadruped Gaits Using Surface Classification and Gait Optimization. Intelligent Robots and Systems (IROS), Tokyo, Japan, November 3-7, 2013. 716 с.
3. Shuaijun Wu, Gang Pan, Ling Yu. Dynamic Walking Gait Designing for Biped Robot Based on Particle Swarm Optimization. Department of Control Science and Engineering Zhejiang University. Hangzhou, China, 2012. 372 с.
4. YoungLim Choi, NakYoon Choi, Jong-Wook Kim. Application of Particle Swarm Optimization to Humanoid Robot Walking. SCIS-ISIS 2012, Kobe, Japan, November 20-24, 2012. 2047 с.
5. Malte Ro¨mmerman, Daniel Ku¨hn, and Frank Kirchner. Robot Design for Space Missions Using Evolutionary Computation. German Research Center for Artificial Intelligence (DFKI), Robert-Hooke-Str. 5, D-28359, Bremen, Germany, 2009. 2098 с.
6. Gregory S. Hornby , Seichi Takamura, Takashi Yamamoto, and Masahiro Fujita. Autonomous Evolution of Dynamic Gaits with Two Quadruped Robots. NASA Ames Research Center Moffett Field, CA 94035-1000, June 2005. 1 с.
7. Jemin Hwangbo, Christian Gehring, Dario Bellicoso, Pe´ter Fankhauser, Roland Siegwart and Marco Hutter. Direct State-to-Action Mapping for High DOF Robots Using ELM. Congress Center Hamburg. Hamburg, Germany, Sept 28 - Oct 2, 2015. 2842 с.
8. Luige Vladareanu, Alexandru Gal, Hongnian Yu, Mincong Deng. Improvement of the Walking Robot Dynamic Stability Using the DSmT and the Neutrosophic Logic. Advanced Mechatronic Systems, Kumamoto, Japan, August 10-12, 2014. 43 с.
9. Zoltan Pap, István Kecskés, Ervin Burkus, Fülöp Bazsó, Péter Odry. Optimization of the Hexapod Robot Walking by Genetic Algorithm . Subotica Tech – College of Applied Sciences , Marka Orešković a 16, Subotica, Serbia, September 10-11, 2010. 121 с.
10. Sylvain Koos , Jean-Baptiste Mouret , Stéphane Donci eux. Crossing the Reality Gap in Evolutionary Robotics by Promoting Transferable Controllers. GECCO’10, Portland, Oregon, USA, July 7–11, 2010.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ МЯЧА, БРОШЕННОГО ВЕРТИКАЛЬНО ВНИЗ

Фельдман Э.О.
Научный руководитель: к.т.н., доцент, Маничев В.Б.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра РК6, Москва, Россия

MATHEMATICAL MODEL OF THE BALL, THROWN VERTICALLY DOWN

Feldman E.O.
Supervisor: Dr., Assoc. Prof., Manichev V.B.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В настоящей статье рассматривается построение математической и компьютерной модели для изменяющегося во времени процесса движения мяча, в основе которого лежат физические законы механики. Проводится исследование достоверности и точности моделирования. Изучается зависимость результатов от достоверности исходных математических моделей. Исследуется неустранимая ошибка первого этапа математического и численного моделирования технических систем – некорректное построение математической модели.

Abstract
This article deals with the construction of mathematical and computer models for time-varying process ball movement, which is based on the physical laws of mechanics. Reliability and accuracy of the simulation are studied. The dependence of the results on the reliability of the source of mathematical modelsis explored. We investigate the fatal error of the first stage of the mathematical and numerical modeling of technical systems that is incorrect construction of a mathematical model.

Введение

Процесс математического и численного моделирования технических изделий и объектов в общем случае можно представить как последовательность четырех основных этапов:

1. Получение на основе фундаментальных физических законов исходной математической модели для объекта математического моделирования в форме систем уравнений, математических выражений, зависимостей и т. п.
2. Выбор численных методов и алгоритмов решения (или выбор готового решателя).
3. Разработка на выбранном алгоритмическом языке и отладка расчетной программы-решателя уравнений математической модели (этап не нужен при использовании готового решателя).
4. Ввод исходных данных для разработанной или выбранной программы-решателя уравнений математической модели, получение и обработка результатов математического моделирования на компьютере.

При математическом и численном моделировании промышленных изделий и объектов на каждом этапе соответственно можно выделить четыре основных источника ошибок в процессе математического моделирования:

1. Погрешность исходной математической модели. Это чрезвычайно важный источник ошибок, т. к. он является неустранимым. Например, 2-ой закон Ньютона в дифференциальной форме не всегда даст корректные результаты математического моделирования (например, на молекулярном уровне), даже в отсутствии других источников ошибок математического моделирования.
2. Ошибки, связанные с неверным выбором численных методов и алгоритмов.
3. Ошибки, связанные с ошибками программирования и ошибками вычислений из-за ограниченной разрядной сетки компьютера.

4. Ошибки, связанные с вводом неверных исходных данных.

В статье на примере моделирования падения тел исследуется неустранимая ошибка первого этапа.

Целью настоящей работы является построение и программная реализация математической модели движения мяча, брошенного вертикально вниз, изучение с помощью полученной модели процесса движения мяча, являющегося примером непрерывной динамической системы, и изучение влияния неточностей исходной модели на конечный результат.

Актуальность работы заключается в том, что математическое и компьютерное моделирование на сегодняшний день являются мощным и эффективным инструментом познания окружающего нас мира и решения сложных научно-технических задач, а математические модели зачастую содержат ошибки, что не позволяет их использовать.

1 Постановка задачи

Постановка задачи состоит в разработке математической и компьютерной модели движения мяча, брошенного вертикально вниз, и использовании построенной модели для изучения данного процесса.

2 Построение математической и компьютерной модели

Математическая модель представляет собой приближенное математическое описание исследуемого процесса с требуемой достоверностью и точностью.

Предварительно исследуемый процесс описывается в терминах естественнонаучных дисциплин с выделением только тех его свойств, которые являются существенными с точки зрения поставленной цели, и указанием принимаемых для моделирования допущений и граничных условий.

В настоящей работе построение «естественнонаучной» модели выполнено с применением фундаментальных законов механики. При этом были определены следующие действующие на мяч силы: сила тяжести, сила внутреннего трения (сопротивления) и сила Архимеда.

Математическая модель исследуемого процесса свелась к задаче Коши для систем ОДУ первого порядка с заданными начальными условиями.

В данной работе для решения полученных на этапе математического моделирования дифференциальных уравнений был использован явный одношаговый метод Эйлера, основанный на замене неизвестной интегральной кривой кусочно-линейной функцией.

Выбранный численный метод Эйлера не обладает очень высокой точностью, но является наиболее изученным и простым, а его принципы лежат в основе многих других методов, применяемых на практике.

Для изучения и использования полученной математической модели была разработана программа, ее реализующая.

Для разработанной программы было проведено тестирование на соответствие её требованиям постановки с учетом принятых допущений и граничных условий.

3 Исследование достоверности и точности модели

Исследование достоверности и точности модели является крайне важным этапом, так как только достоверную модель можно использовать для изучения заданного процесса.

В настоящей работе данное исследование было выполнено путем сравнительного анализа результатов программы с решением, полученным аналитически. Дополнительно в анализ были включены значения, рассчитанные с использованием средств пакета Mathcad.

По итогам анализа был сделан вывод о том, что относительная погрешность находится в пределах заданного уровня точности и, следовательно, построенную модель можно считать достоверной.

4 Использование и изучение модели

С полученной моделью был проведен ряд экспериментов. Изучалось движение шаров из различных материалов в воздухе и в воде. При этом сначала учитывалось действие всех сил, а затем эксперимент проводился повторно, но сила Архимеда не учитывалась.

Ниже приведена сравнительная таблица, составленная по результатам экспериментов. В ней указано время, прошедшее от начала падения до момента первого касания.

Таблица 1. Время падения мячей

Общие параметры: начальная высота – 200м, начальная скорость – 0м/с			
Тело	*Среда*	*Время с учетом силы Архимеда, с*	*Время без учета силы Архимеда, с*
Стальной шарик Радиус – 0,05м	Воздух	6,48	6,48
	Вода	43,31	40,37
Камень Радиус – 0,4м	Вода	32,68	25,31
Легкий шар (плотность – 2кг/м^3) Радиус – 0,4м	Воздух	49,47	30,96

В опыте со стальным шаром видно, что, если пренебречь силой Архимеда, погрешность результата в случае движения в воде невелика, а в воздухе крайне незначительна (0,01%). Однако, как видно из последующих опытов силой Архимеда все же не следует пренебрегать, даже в воздухе. В рассмотренном примере падения камня в воде ошибка составляет 22%, что значительно, например, в случае, когда камень падает на человека или дорогостоящее оборудование. Легкий шар иллюстрирует небольшой зонд, в котором произошла утечка легкого газа, вследствие чего началось падение. Здесь ошибка составляет уже 37%. Очевидно также, что ошибка того же порядка будет в скорости объекта при его приземлении, что подтверждается графиком на рис. 1 (угол наклона прямой). Если не учитывать силу Архимеда, данную модель не только нельзя считать точной, ее также нельзя считать достоверной (достоверность предполагает ошибку не более 10%).

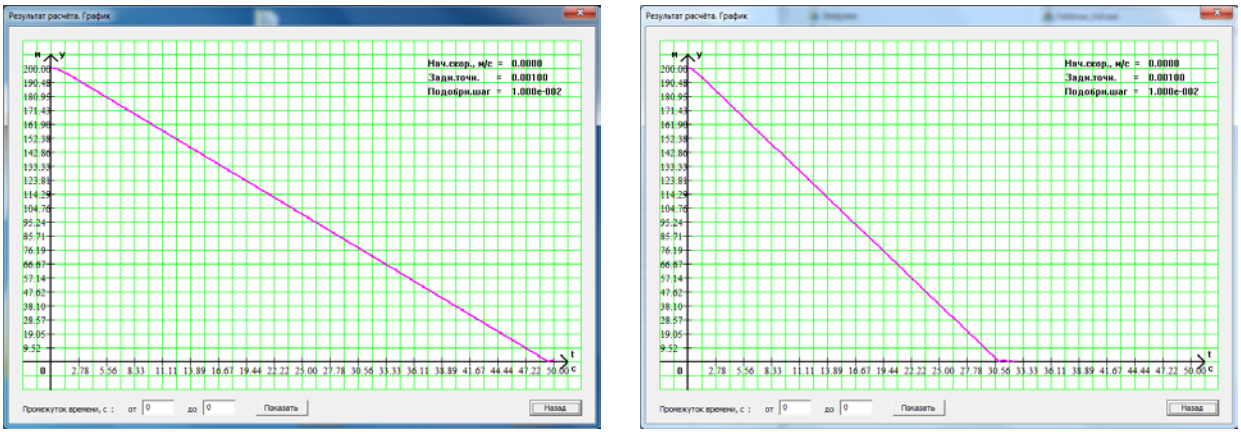


Рис. 1. Графики движения легкого шара в воздухе с учетом (слева) и без учета (справа) силы Архимеда

Заключение

Итогом проделанной работы является построенная математическая модель движения мяча, брошенного вертикально вниз.

Изучено влияние на результат достоверности исходной модели. Получены результаты, свидетельствующие о том, что, если не учитывать силу Архимеда, модель в данных условиях не будет достоверной.

Построенная модель в условиях проведенных экспериментов достоверна. Однако, следует отметить, что она не будет являться таковой в других условиях – например, при удалении от поверхности земли уменьшается плотность воздуха и сила тяготения, что не учитывается в данной модели.

Следует отметить, что для многовариантного анализа и оптимизации моделируемых объектов, исследование достоверности математической модели, подобное приведенному в данной статье, обязательно.

Литература

1. Ашихмин В.Н., Гитман М.Б, Келлер И.Э., Наймарк О.Б., Столбов В.Ю., Трусов П.В. Введение в математическое моделирование: учебное пособие. М.: Логос, 2005. 440 с.
2. Агафонов С.А., Герман А.Д., Муратова Т.В. Дифференциальные уравнения. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2011. 352 с.
3. Маничев В.Б. Методы численного решения обыкновенных дифференциальных уравнений и линейных алгебраических уравнений с гарантированной достоверностью и точностью. Лекции по курсам «Основы автоматизированного проектирования, Численные методы» для специальности 2301040065 «Системы автоматизированного проектирования» кафедра РК6 (САПР) МГТУ имени Н.Э.Баумана. Режим доступа: http://pa10.ru/doc/manichev-oap-lection.pdf (дата обращения 26.10.2015).
4. Страуструп Б. Язык программирования C++: пер. с англ. М.: Бином, 2008. 1054 с. [Stroustrup B. The C++ Programming Language. 3rd ed. Addison–Wesley, 1997. 912 p.].

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

А.В. Герасимова, Н.А. Сачкова
Научный руководитель: Цивинская Т.А.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ-4, Москва Россия.

FEATURES APPLICATIONS THE ULTRASONIC WELDING MICROELECTRONIC PRODUCTS

A.V. Gerasimova N.A. Sachkova
Supervisor: Civinskay T.A.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация
Проанализированы особенности процесса УЗС, ее применение в отрасли микроэлектроники, а также представлены параметры выбора оборудования, исходя из заданных условий процесса.

Annotation
A review of existing systems of calculating the reliability of electronic equipment. A comprassion of their features. The basic advantes and disadvantages of the systems in question.

Введение

Мощные ультразвуковые колебания находят широкое приме-нение в различных отраслях народного хозяйства. В настоящее время в промышленности используются ультразвуковая очистка и обезжиривание различных изделий. Ультразвук применяется для получения высокодисперсных эмульсий, диспергирования твердых тел в жидкости, коагуляции аэрозолей и гидрозолей, дегазации жидкостей и расплавов.

Одним из интересных и перспективных промышленных приме-нений ультразвука является ультразвуковая сварка (УЗС). Этот способ сварки характеризуется весьма ценными технологическими свойствами: возможностью соединения металлов без снятия по-верхностных пленок и расплавления, особенно хорошей свариває-мостью чистого и сверхчистого алюминия, меди, серебра; возмож-ностью соединения тончайших металлических фольг со стеклом и керамикой.

Ультразвуком сваривается большая половина известных термопластичных полимеров. Ультразвуковая сварка пластмасс тем более ценна, что для ряда полимеров она является единственно возможным надежным способом соединения.

Основным методом монтажа микроэлектронных приборов с момента их появления и по настоящее время является проволочный монтаж, который, несмотря на высокую трудоёмкость, имеет ряд преимуществ[Комплект учебно-методических комплексов по проектированию и производству МЭМС систем “Модуль ультразвуковой обработки” Книга 5. (с.5)]: низкая стоимость изготовления элементов электронных приборов, возможность совершенствования сварочных систем.

1 Обоснование выбора оборудования для УЗ сварки

Технологическое оборудование для ультразвуковой сварки, независимо от физико-механических свойств свариваемых мате-риалов, которые являются непосредственными объектами интен-сивного воздействия ультразвуковых колебаний, имеет одну структуру и состоит из следующих узлов: источника питания, аппаратуры управления сварочным циклом, механической колебательной системы и привода давления.

Важнейшим узлом, составляющим основу и специфику оборудования и технологии ультразвуковой сварки металлов и пластмасс, является механическая колебательная система. Эта система служит для преобразования электрической энергии в механическую, передачи этой энергии в зону сварки, согласования сопротивления нагрузки с внутренним сопротивлением системы и геометрических размеров зоны ввода энергии с размерами излучателя, концентрирования энергии и получения необходимой величины колебательной скорости излучателя. Система должна работать с максимальным к. п. д. на резонансной частоте независимо от изменения сопротивления нагрузки [1].

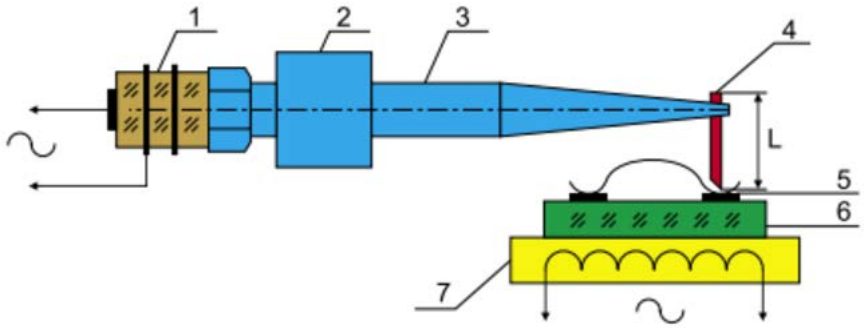


Рис. 1. Схема УЗ-система микросварки
1 - УЗ-преобразователь; 2 - стакан; 3 - волновод; 4 - инструмент; 5 - микропроводник; 6 - кристалл; 7 - столик

Процесс ультразвуковой микросварки характеризуется тремя основными параметрами: амплитудой и частотой ультразвуковых колебаний; приложенным давлением; длительностью сварки. Эти параметры взаимосвязаны, то есть при подборе режима сварки при увеличении давления и длительности сварки можно уменьшить амплитуду ультразвуковых колебаний, и наоборот. Оптимальным режимом процесса считается такой, при котором удаётся достичь максимальной прочности соединений при сохранении электрических свойств структур.

Требования к рабочему инструменту для УЗ- микросварки можно сформулировать следующим образом:

– форма и размеры инструмента должны обеспечивать эффективную передачу энергии УЗ- колебаний.

– материал инструмента должен обеспечивать минимальное затухание УЗ-колебаний и не должен вступать во взаимодействие с материалом вывода.

Для сохранения спектра собственных частот и вида колебаний (в частности, изгибных) необходимо соблюдать условие [2]:

$$l/d \geq (8–10),$$

где l — длина волны изгибных колебаний; d — диаметр сечения рабочего инструмента [2].

Большое влияние на процесс ультразвуковой сварки оказывает состояние поверхностей соединяемых деталей. Наиболее опасны и недопустимы и недопустимы органические жировые пленки, которые удаляют несколькими методами: растворением в нейтральных или химически активных растворителях (табл. 3); эмульгированием; комбинированным воздействием потока растворяющей жидкости или ее паров при избыточном давлении и др. [3].

Таблица 1 – Свойства растворителей жировых пленок [4]

Наименование растворителя	Температура кипения °С	Температура, вспышки°С	Токсичность г/м^3	Растворяющая способность
Фреон-113	47,6	не горит	1.0	хорошая
Изопропилировый спирт	83	+16	0.2	средняя
Ацетон	56.2	-16.7	0.2	средняя

Наиболее просто очистку поверхности полупроводникового кристалла с контактными площадками из Au или Al производят обезжириванием в этиловом спирте. Для высококачественной очистки применяют два состава:

- спирт изопропиловый и ацетон - по 50%;
- 95% фреона-113 и 5% изопропилового спирта.

Последовательность операций очистки:

-проточная промывка составом №1 при 20˚С в течение 10минут;

-пульверизаторная очистка составом №2 при 20˚С в течение 4 минут;

-проточная промывка составом №1 при температуре 46˚С в течение 4мин;

-паровая очистка составом №2 при температуре 45˚С в течение 2минут;

-естественная сушка в обеспыленной среде.

Под воздействием пластической деформации и диспергирующего действия ультразвука удаляются адсорбированные плёнки жидкостей, газов, органических плёнок и поверхностных оксидов, в результате чего поверхности деталей очищаются и возникает непосредственная связь двух соединяемых материалов вывода и контактной площадки кристалла.

В процессе деформирования происходит увеличение площади непосредственного контакта, что обеспечивает получение хорошей прочности соединения. Контактное давление, подбираемое опытным путём, зависит от механических свойств свариваемых материалов и размеров изготовленных из них деталей. Обычно деформация не превышает 20% их первоначальных размеров. Ультразвуковую сварку выполняют в диапазоне частот от 60 до 250 кГц. [4].

С помощью ультразвука хорошо свариваются: электродные выводы из золота и алюминия с золотым покрытием, нанесённым на ситалл по подслою нихрома; алюминиевые электродные вывода с алюминиевой плёнкой, нанесённой на стекло, кремний или диоксид кремния; золотые, алюминиевые проволочные выводы микросхем с золотым покрытием, осаждённым на ковар по подслою никеля.

Прочность соединений, полученных ультразвуковой сваркой, зависит от амплитуды и частот ультразвуковых колебаний инструмента, контактного усилия на свариваемые детали, времени сварки и мощности колебательной системы. Амплитуда и частота колебаний инструмента подбирается опытным путём для каждой пары материалов определённой толщины, так как ими определяется динамическая нагрузка, передаваемая свариваемым изделиям в зоне контакта. Например, для материалов небольшой толщины используются малые амплитуды (от 0,005 до 0,015мм) и повышение частоты до 100кГц.

Пластическая деформация материалов зависит от их физико-механических свойств, толщины и приложенного контактного усилия, а также состояния поверхностей. Для проволочных выводов от 20 до 50 мкм контактное усилие лежит в пределах от 0,05 до 1Н. мощность колебательной системы определяется конструкцией установки, а время сварки зависит от выбранных амплитуды и частоты колебаний инструмента, контактного усилия, а также свойств свариваемых материалов и их толщины. Для получения соединений

применяется специальный инструмент – «клин». Он представляет собой стержень с конической частью на конце и отверстием для подачи проволоки [4]

Очень важным моментом использования УЗ колебательной системы микросварки является корректная установка микроинструмента в зажиме — так называемый вылет инструмента. Согласно [2] необходимо, чтобы собственные частоты продольных колебаний УЗ-преобразователя и изгибных колебаний инструмента совпадали. В противном случае резонансная частота примет какое-то промежуточное значение и в месте сопряжения увеличится реакция нагрузки (за счет реактивных составляющих), что может вызвать нарушение согласования преобразователя с инструментом. Известно, что резонансная длина вылета инструмента связана следующим соотношением:

$$l/rl/l_{np} = (1/(4p))(bl)2 ,$$

где l — длина вылета инструмента; l_{np} — длина продольной волны; множитель $(bl)2$ зависит от числа узлов в инструменте; r — радиус инструмента. Для правильной установки инструмента ведущие производители обычно прилагают к поставляемому оборудованию специальные шаблоны.

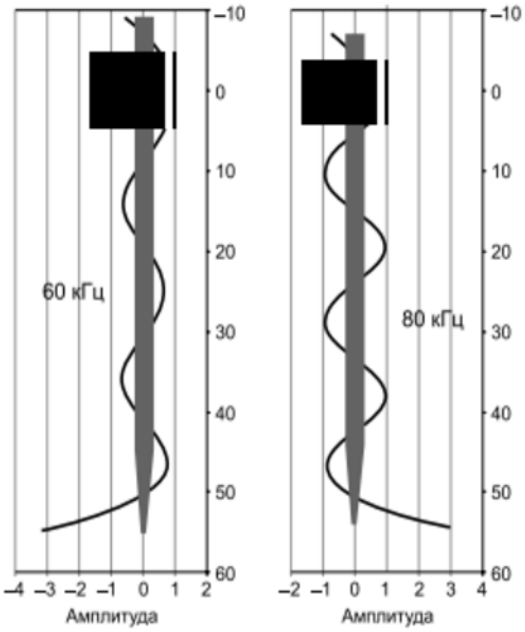


Рис. 2. Распределение УЗ-колебаний вдоль оси инструмента на частотах 60 и 80 Гц

Для определения оптимального зажима микроинструмента в УЗП используют различные измерители (акустические микрофоны, лазерные интерферометры). При этом исследуется распределение узлов и пучностей вдоль оси инструмента, как показано на рис. 2 .

Вылет микроинструмента зависит от характеристик УЗП, резонансной частоты, материала, из которого изготовлен микроинструмент, и его геометрии. Например, для инструмента из карбида титана, используемого обычно для присоединения золотой проволоки, вылет на 0,5 мм меньше, чем у инструмента из карбида вольфрама, применяемого для присоединения алюминиевой проволоки.

Измерение и контроль электрических параметров УЗ-системы не вызывает сложностей, поскольку можно использовать стандартное измерительное оборудование в отличие от контроля механических колебаний ввиду малой амплитуды (порядка 0,2–1,5 мкм) и высокой частоты (от 60 до 120 кГц).Распределение амплитуды колебания вдоль сварочного инструмента, приведенное на рис. 3, показывает, что резонансная частота системы — 66,2 кГц, а амплитуда колебаний инструмента составляет 0,25 мкм. Данная модель виброметра позволяет измерять колебания в диапазоне до 80 кГц, для более высокого диапазона нужно использовать другой контроллер. С помощью подобной системы не составляет труда не

только определить распределение колебаний вдоль оси инструмента, но и исследовать спектр колебаний.

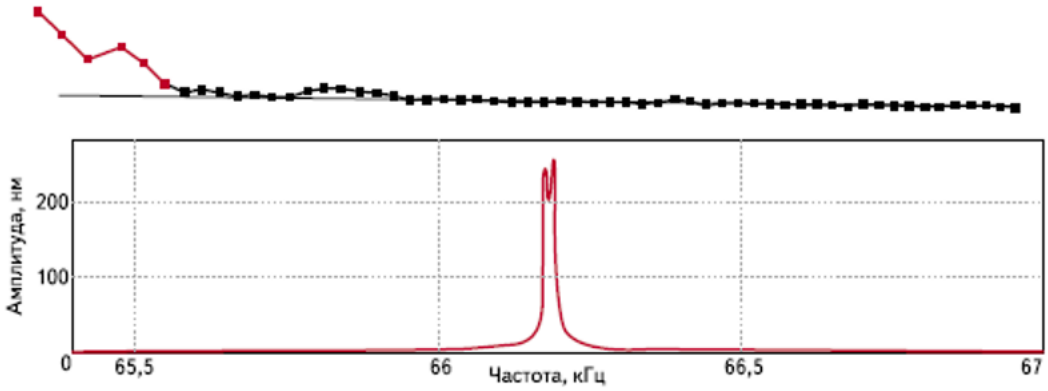


Рис. 3. Распределение амплитуды колебаний в УЗ системе микросварки

Сложность заключается еще и в том, что измерительная система должна быть бесконтактной, то есть необходимо исключить воздействие на УЗ колебательную систему. (рис. 4.)

Рис.4. Принцип работы лазерной системы контроля

Рис.5. Лазерный бесконтактный виброметр

Лидером и монополистом на рынке подобных измерений является компания Polytec (Германия). Для исследования распределения амплитуды и частот колебаний вдоль УЗ технологической системы микросварки применен бесконтактный виброметр PSV-400, наиболее передовое средство для бесконтактных измерений, визуализации и анализа колебаний различных конструкций (рис.5).

Заключение

УЗС целесообразна для соединения:

- миниатюрных и микроминиатюрных деталей из разнородных металлов (табл.2), сварка которых другими методами затруд-нена или невозможна;
- тугоплавких металлов, сильно различающихся по электро- и теплопроводности, толщине, а также металлов с тонкими не-металлическими покрытиями.

Таблица 2. Свариваемость материалов УЗ способом

	Al	Cu	Au	Ni	Mo	Ag	Латунь
Al	+	+	+	+	+	+	+
Cu	+	+	+	+	+	-	+
Au	+	+	+	+	-	-	-
Ni	+	+	+	+	+	-	-
Mo	+	+	-	+	+	-	-
Ag	+	-	-	-	-	+	-
Латунь	+	+	-	+	-	-	+

Таким образом, УЗС наиболее универсальна по сравнению с другими способами. Ее широко применяют при выполнении внутрисхемных соединений алюминиевых контактных площадок и проволочных перемычек, если МЭМС (Микроэлектромеханическая система)предназначена для работы в условиях повышенной температуры. Не рекомендуется УЗС золотой проволоки с алюминиевыми контактными площадками (особенно напыленными на кремний) в МЭМСах, предназначенных для работы при температурах выше 65°С, а также при вибрационных я ударных нагрузках [5-12].

К основным параметрам режима относят электрическую мощность УЗ преобразователя, амплитуду колебаний инструмента, давление на свариваемые элементы в соне образования соединения и длительность воздействий. Для микроминиатюрных деталей небольшой толщины частота колебаний инструмента также является основным параметром.

Литература

1. Кундас С.П., Оанин В.Л., Достанко А.П и др. Ультразвуковые процессы в производстве изделий электронной техники. с.346
2. Комплект учебно-методических комплексов по проектированию и производству МЭМС систем: Книга 5. “Модуль ультразвуковой обработки” - М.: Изд-во ООО “Оптико-голографические приборы”, 2014. - 91 с.
3. Силин Л.Л., Баландин Г.Ф., Коган М.Г. Ультразвуковая сварка. Букинистическое издание, 1962. с.97.
4. В.В Зенин, Д.И. Бокарев, Ю.Е Сегал, В.И. Фролов Оптимизация режимов ультразвуквой сварки проволочных выводов к корпусам мощных полупроводниковых приборов. - Воронеж. Изд-во Ворон. гос. техн. ун-т. 2003. - 168 с.
5. Власов А.И., Назаров А.В. ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ МИКРО- И НАНОСИСТЕМ - Москва. Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2011. Сер. Библиотека "Наноинженерия". Том 14.
6. Власов А.И., Журавлева Л.В., Резчикова Е.В. и др. ОНТОЛОГИЯ НАНОИНЖЕНЕРИИ // Международный научно-исследовательский журнал. 2013. № 12-1 (19). С. 50-67.
7. Андреев К.А., Власов А.И. МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИНТЕЗ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕМБРАННЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЭМС // В сборнике: Интеллектуальные системы М., 2012. С. 434-438.
8. Адамова А.А., и др. ПРОВЕДЕНИЕ НАУЧНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В НАНОИНЖЕНЕРИИ - Москва, Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2015. 129 с.
9. Власов А.И., Журавлева Л.В., Сергеева Н.А., Цивинская Т.А. АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ОЦЕНКИ МАССОВОГО РАСХОДА В ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМАХ // Тезисы докладов 2-ой Международной конференции с элементами научной школы "Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах" - Тамбов. Изд-во Першина. 2015. С. 63-65.
10. Власов А.И., Пустовалов В.А. ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ КВАРЦЕВЫХ ПЛАСТИН ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МЕТОДОМ ИОННОГО ПЛАНАРНОГО УТОНЕНИЯ // Наноинженерия. 2015. № 6. С. 3-6.
11. Андреев К.А., Милешин С.А., Цивинская Т.А. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ КРЕМНИЯ И СТЕКЛА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЫСОКОТОЧНЫХ ДАТЧИКОВ // Датчики и системы. 2013. № 2 (165). С. 45-49.
12. Борзов А.Б., Лихоеденко К.П., Цыганков В.Ю., Тиняков Ю.Н., Андреев К.А., Цивинская Т.А. ТЕРМИЧЕСКИ ИЗОЛИРОВАННЫЕ ЯЧЕЙКИ В КОНСТРУКЦИЯХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ИЗГОТОВЛЕННЫЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ АНОДНОЙ ПОСАДКОЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. № 12. С. 19.

Работа выполнена при частичной поддержке НИОКР по Договору №М2-795

КОНЦЕПЦИЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Гоношилов Д.С.
Научный руководитель: Демин А.А.
МГТУим.Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

THE CONCEPT OF STRUCTURAL-FUNCTIONAL MODELING PROCESS ELECTRONIC EQUIPMENT MANUFACTURING

Gonoshilov D.S.
Supervisor: Demin A.A.
Bauman MSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В данной статьей представлено исследование концепции структурно-функционального моделирования на примере производства изделий электронной техники, в том числе медицинского оборудования для реабилитации. В работе были приведены примеры реинжиниринга производственного процесса с использованием диаграмм в нотации IDEF0 и IDEF3, описаны основные их отличия, сделаны выводе о методе структурно-функционального моделирования.

Abstract
This article presents a study of the concept of structural and functional modeling on the example of the production of electronic products, including medical devices for rehabilitation. In the examples of the re-engineering of the production process were presented with charts in notation IDEF0 and IDEF3, describes the main differences between them, to draw conclusions about the method of structural and functional modeling.

Введение

Статья посвящена концепции структурно функционального моделирования на примере технологического процесса (ТП) изготовления изделий электронной техники. Актуальность. Методология структурно-функционального моделирования направлена на анализ, оптимизацию и управление материальными, информационными, финансовыми и трудовыми потоками предприятия, производящего ту или иную продукцию, обеспечивает её гибкость и динамичность.

Цель работы: Анализ методов структурно-функционального моделирования на примере структурно-функциональных моделей технологического процесса изготовления электронного устройства «Усилитель».

1 Разработка концептуально-абстрактной модели

Для полноты и информативности структурно-функциональной модели сначала разрабатывается концептуально-абстрактная модель в виде MindMap (рисунок 1), определяющая структуру производства, ее свойства и причинно-следственные связи. Обычно концептуально-абстрактная модель строится на основе схемы сборки изделий, маршрутных карт или других документированных инструкций [1, 2].

Рис. 1. Концептуально-абстрактная модель усилителя

Разработанная ментальная карта представляет собой перечень основных операций, сопровождаемых при производстве усилителя.

2 Разработка контекстной диаграммы

Структурно-функциональный метод в условиях массового и серийного производства особенно актуален в связи с необходимостью разработки программно-компьютерного обеспечения CALS технологий (Computer-Aided Acquisitionand Lifecycle Support - технологий непрерывной информационной поддержки), соответствующего функциям автоматизированных систем её реализации: планирования технологической подготовки - CAP (Computer Aided Planing), управления качеством -CAQ (Computer Aided Qwalitat), инженерной подготовки производства - CAE (Computer Aided Engineering) и др. [3].

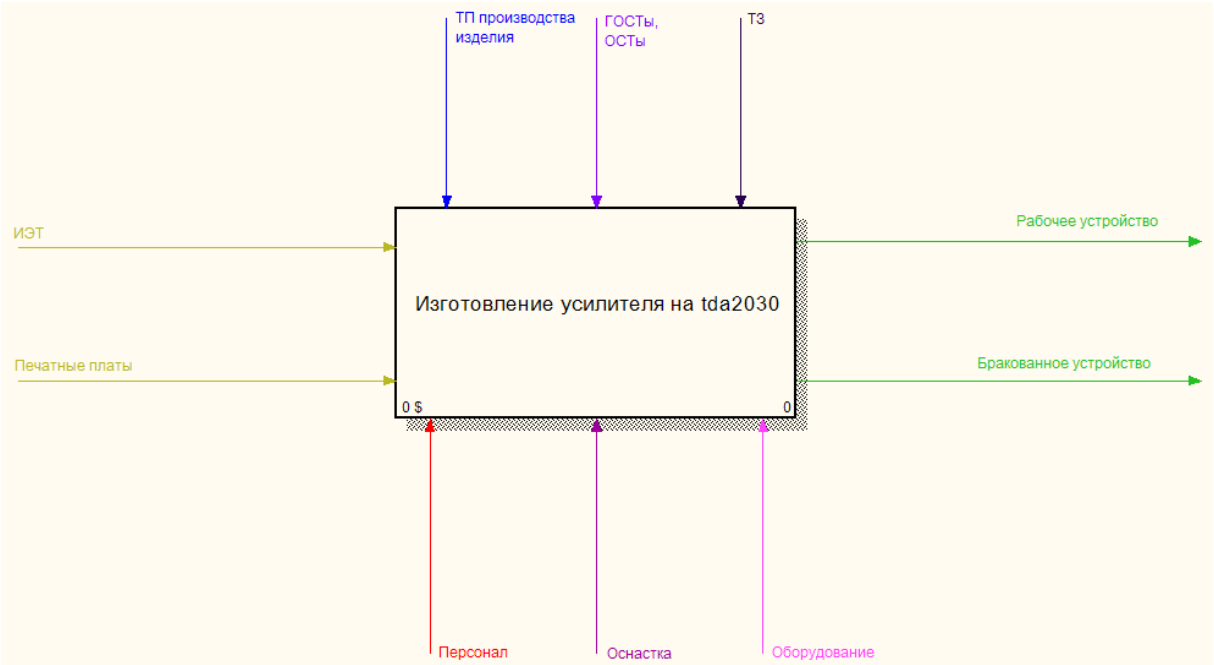


Рис. 2. Контекстная диаграмма ТП изготовления усилителя на tda2030

Диаграммы, выполненные в нотации IDEF0, являются ICOM диаграммами, что

предполагает использование четырех видов воздействий – входных (Input), контрольных (Control), механизмов (Mechanism) и выходных(Output). Соответственно входные воздействия отображены слева, контролирующие сверху, механизмы снизу, а выходные справа. Этот подход является первым этапом при описании и формализации техпроцесса.

Описание контекстной диаграммы выглядят как “черный ящик”, она наглядно, в общем плане, показывает, какие ресурсы надо вложить (Input, Mechanism), чтобы получить желаемое на выходе (Output).

Технология структурно-функционального моделирования SADT (Structured Analysos & Desogn Technoque) и её стандартный раздел (графическая нотация) описания бизнес-процессов организованных CALS-технологий, называемый IDEFO-диаграммами, является эффективным и достаточно распространенным методом формализованного описания сложных систем. Данная технология предполагает моделирование функций объекта путем создания описательной графической модели, представляющей собой структурированное изображение функций производственной системы [4-6].

На рисунке 2 представлена контекстная диаграмма ТП усилителя, разработанная на основе концептуально-абстрактной модели.

3 Первый уровень декомпозиции

Далее разработанная ранее контекстная диаграмма декомпозируется в нотации IDEF0 для отражения основных этапов производства изготовления усилителя на tda2030.

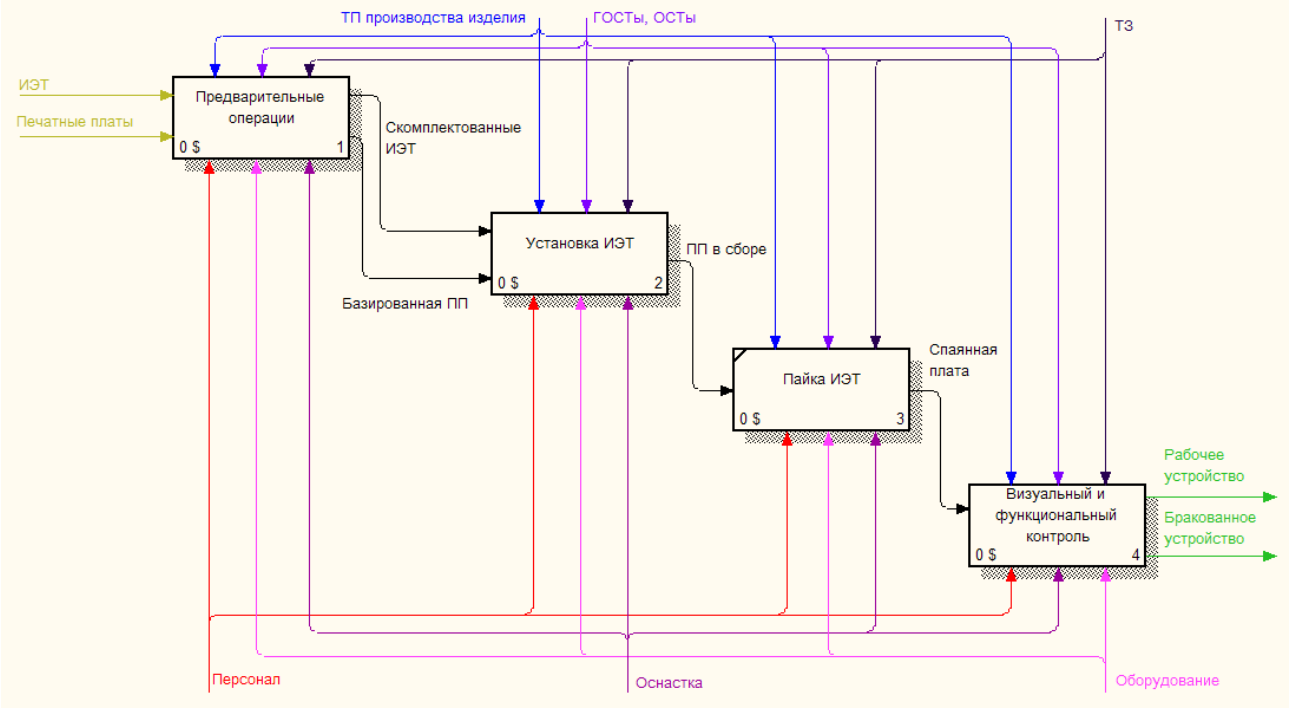


Рис. 3. Первый уровень декомпозиции ТП усилителя на tda2030

Выходные данные каждой работы поступают на вход следующей, входные данные первой работы (предварительные операции) совпадают со входными данными контекстной диаграммы, а выходные последней (рабочее или бракованное устройство) – с выходными данными контекстной диаграммы. Уже на данном этапе у взглянувшего на диаграмму начинает формироваться цепочка производственного цикла.

Для дальнейшего описания выявленных информационных потоков используются так называемые IDEF3 диаграммы, уточняющие взаимоотношений между процессами обработки информации и объектов, последовательности работ. На рисунке 4, в качестве примера, изображена IDEF3-диаграмма,декомпозиция одной из работ второго уровня декомпозиции производства усилителя.

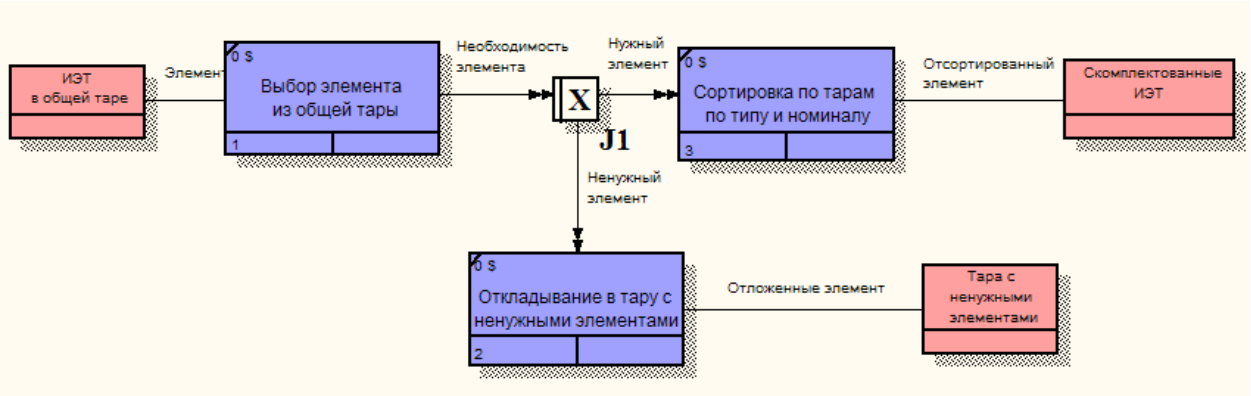


Рис. 4. Третий уровень декомпозиции работы «Комплектация ИЭТ»

На рисунке представлен третий уровень декомпозиции, но не представлен второй. Это было сделано с целью создания емкой и информативной статьи, исключения повторяющейся информации. На втором уровне может быть декомпозирована любая работа из первого уровня декомпозиции, в любой удобной нотации. Стоит заметить, что у диаграмм в нотации IDEF3 отсутствуют контрольные воздействия и механизмы воздействия.

Заключение

Декомпозиция проводят до атомарного уровня (уровня переходных процессов). На производстве атомарным уровнем считается переходный момент между деятельностью человека на одном рабочем и деятельностью другого на другом рабочем месте. В результате структурно-функционального моделирования формируется пакет диаграмм, на основании которых можно осуществлять анализ производственной деятельности, вводить корректировки, предлагать новые решения, производить реинжиниринг этапов деятельности предприятий по выпуску изделий электронной техники.

Литература

1. Маклаков С.В. BPwin и Erwin: CASE-средства для разработки информационных систем.– М.: Диалог-МИФИ, 2000 г. – 304с.
2. Сергеев В. И. Логистика в бизнесе: Учебник. - М.: ИНФРА Серия «Высшее образование», 2001 г. - 608 с.
3. Власов А.И. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЗУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ // Международный научно-исследовательский журнал. 2013. №10-2 (17). С. 17-26.
4. Власов А.И., Иванов А.М. ВИЗУАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭЛЕКТРОНИКИ // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. № 11. С. 34.
5. Власов А.И. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭВОЛЮЦИИ МЕТОДОВ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ // Датчики и системы. 2013. № 9 (172). С. 10-28.
6. Власов А.И., Журавлева Л.В., Тимофеев Г.Г. МЕТОДЫ ГЕНЕРАЦИОННОГО ВИЗУАЛЬНОГО СИНТЕЗА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ МИКРО-/НАНОСИСТЕМ // Научное обозрение. 2013. № 1. С. 107-111.

Работа выполнена при частичной поддержке Гранта РФФИ № 16-37-00040\16 в рамках программы «Мой первый грант»

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА БАЙЕСА ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Губриенко А. Г.
Научный руководитель: к.т.н., доцент, Волосатова Т. М.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра РК-6, Москва, Россия

THE APPLICATION OF THE METHOD OF BAYES FOR DIAGNOSING DISEASES

Gubrienko A. G.
Supervisor: candidate of technical Sciences, associate Professor, Volosatova T. M.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье рассматривается метод Байеса и его применение в медицине. Подробно рассмотрены достоинства и недостатки метода. Кратко представлено возможности создания приложения, облегчающего постановку диагноза. В заключении представлены рекомендации по дополнению приложения и его применению в смежных сферах.

Abstract
The article discusses the Bayesian method and its application in medicine. Detail the advantages and disadvantages of the method. Briefly presents the possibility of creating applications, facilitating the diagnosis. In conclusion, the paper presents recommendations for Supplement application and its application in related fields.

Введение

Во многих сферах жизни необходимо рассчитать вероятности будущих событий, таких как заболевание, надежность механизма, риск сбоя системе. Используя классические методы вероятности, зачастую не анализируется накопленный опыт, однако, учитывая его, можно значительно повысить точность.

Теорема Байеса – одна из основных теорем элементарной теории которая позволяет определить вероятность какого-либо события при условии, что произошло другое статистически взаимосвязанное с ним событие. Другими словами, по формуле Байеса можно более точно пересчитать вероятность, взяв в расчет как ранее известную информацию, так и данные новых наблюдений. Формула Байеса может быть выведена из основных аксиом теории вероятностей, в частности из условной вероятности.

Особенность теоремы Байеса заключается в том, что для ее практического применения требуется большое количество расчетов, вычислений, поэтому байесовские оценки стали активно использовать только после революции в компьютерных и сетевых технологиях.

Цель работы – облегчить и систематизировать работу врача, используя метод Байеса. Большинство современных программ для постановки диагноза основаны на менее эффективных методах.

Программа позволит, используя вычислительные мощности ЭВМ, ускорить постановку диагноза и уменьшить вероятность врачебной ошибки. Объединив ЭВМ в сеть можно будет получить статистически данные, которые также повысят вероятность правильной постановки диагноза.

1 Диагностика по методу Байеса

Метод основан на простой формуле Байеса. Если имеется диагноз Di и простой признак ki, встречающийся при этом диагнозе, то вероятность совместного появления событий (наличие у объекта состояния Di и признака ki).

$$P(Di|ki) = \frac{P(ki|Di)P(Di)}{P(ki)}$$

Очень важно определить точный смысл всех входящих в формулу Байеса величин.

P(Di)- априорная вероятность гипотезы D,

P(ki/Di) – вероятность гипотезы ki при наступлении события D (апостериорная вероятность – вероятность случайного события при условии того, что известны апостериорные данные, т.е. полученные после опыта.),

P(ki) – полная вероятность наступления события ki,

P(Di/ki) – вероятность наступления события Di при истинности гипотезы ki.

P(D) – вероятность диагноза D, определяемая по статистическим данным (априорная вероятность диагноза). Так, если предварительно обследовано N объектов, и у W – объектов имелось состояние D, то

$$P(Di) = Ni/N.$$

P(kj/Di) – вероятность появления признака kj у объектов с состоянием Di. Если среди Ni объектов, имеющих диагноз Di, у Nij проявился признак kj то

$$P(ki/Di) = Nij/Ni.$$

P(kj) – вероятность появления признака kj во всех объектах независимо от состояния (диагноза) объекта. Пусть из общего числа N объектов признак kj был обнаружен у Nj объектов, тогда

$$P(kj) = Nj/N.$$

P(Di/kj) – вероятность диагноза D после того, как стало известно наличие у рассматриваемого объекта признака kj (апостериорная вероятность диагноза).

Для определения вероятности диагнозов по методу Байеса необходимо составить диагностическую матрицу (рис. 1), которая формируется на основе предварительного статистического материала. В этой таблице содержатся вероятности разрядов признаков при различных диагнозах.

Диагноз D_i	Признак k_j									$P(D_i)$
	k_1			k_2				k_3		
	$P(k_{11}/D_i)$	$P(k_{12}/D_i)$	$P(k_{13}/D_i)$	$P(k_{21}/D_i)$	$P(k_{22}/D_i)$	$P(k_{23}/D_i)$	$P(k_{24}/D_i)$	$P(k_{31}/D_i)$	$P(k_{32}/D_i)$	
D_1	0,8	0,2	0	0,1	0,1	0,6	0,2	0,2	0,8	0,3
D_2	0,1	0,7	0,2	0	0	0,3	0,7	0,1	0,9	0,1
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .

Рис. 1. Диагностическая матрица 1

В диагностическую матрицу включены априорные вероятности диагнозов. Процесс обучения в методе Байеса состоит в формировании диагностической матрицы. Важно предусмотреть возможность уточнения таблицы в процессе диагностики. Для этого в памяти ЭВМ следует хранить не только значения вероятности, но и следующие величины:

N – общее число объектов, использованных для составления диагностической матрицы;

Nt – число объектов с диагнозом D;

Nij – число объектов с диагнозом D, обследованных по признаку Kj.

Решающее правило – правило, в соответствии с которым принимается решение о диагнозе.

2 Шаблон программы постановки диагноза

Пусть необходимо диагностировать болезнь, которой болен пациент. При этом все болезни можно разделить на три группы. Первая группа – болезни дыхательной системы. Вторая группа – болезни сердечно-сосудистой системы. Третья – болезни пищеварительной системы.

Таким образом можно сказать, что имеется три гипотезы. Каждая соответствует своей группе. Из общей статистики по заболеваниям известно, что 50% приходится на болезни сердечно-сосудистой системы, 30% на пищеварительной системы и 20% на дыхательной системы.

Признаками являются симптомы, такие как повышенная температура (y1) и боли в области груди (y2). В таблице приведены вероятности для всех случаев.

i	Сердечно-сосудистая система	Пищеварительная система	Дыхательная система
$Pr(H_i)$	0.5	0.3	0.2
$Pr(y1\|H_i)$	0.4	0.8	0.3
$Pr(y2\|H_i)$	0.7	0.9	0.0

Заметим, что сумма в первой строке всегда должна равняться 1. А в других может быть любой, так как считается что 40% симптом присущ для болезни и 1-0.4=0.6 не присущ.

Рассмотрим первое свидетельство. Тогда по теореме Байеса

$$Pr(Hi|y1) = \frac{Pr(y1|Hi)\,Pr(Hi)}{\sum Pr(y1|Hi)\,Pr(Hi)} = 0.4$$

Для остальных гипотез будет 0.48 и 0.12 соответственно. Заметим, что первое свидетельство изменило доверие к гипотезам. То есть наблюдаемый симптом влияет на диагноз.

Рассмотрим второе свидетельство.

$$Pr(Hi|y2) = \frac{Pr(y2|Hi)\,Pr(y1|Hi)}{\sum Pr(y2|Hi)\,Pr(y1|Hi)} = 0.393$$

Для остальных будет 0.607 и 0.0 соответственно. То есть мы исключили одно заболевание, так как симптом ему не свойственен.

На данный момент мы произвели последовательные вычисления. Но если количество свидетельств (наблюдаемых симптомов) велико, то вычисления становятся сложными, так как последующий шаг зависит от предыдущего. Этого можно избежать. Свидетельство y1 не зависит от свидетельства y2 (возможно и есть некая зависимость, которой можно пренебречь). Тогда рассмотрим задачу с 2 независимыми свидетельствами.

$$Pr(Hi|y2) = \frac{Pr(y2|Hi)\,Pr(y1|Hi)\,Pr(Hi)}{\sum Pr(y2|Hi)\,Pr(y1|Hi)\,Pr(Hi)}.$$

То есть за один шаг мы выполняем анализ всех свидетельств для одной гипотезы.

Напишем программу (рис. 2), которая позволяет на основе входных данных рассчитать по теореме Байеса вероятность заболевания, то есть диагностировать его.

Расчёты для примера верны, но количество гипотез и свидетельств задаётся пользователем. Также осуществляется проверка на входные данные (рис. 3).

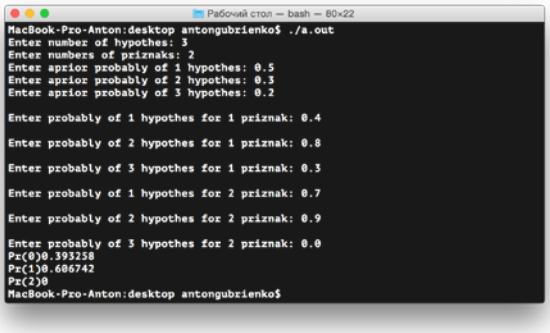


Рис. 2. Пример выполнения программы 1

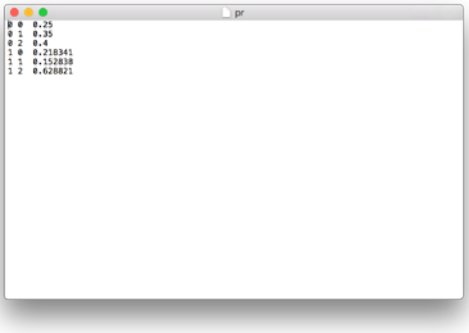


Рис. 3. Файл расчётов

Также реализуем программу, которая будет осуществлять расход поэтапно, а также выводить данные в файл, что позволит построить график.

Заключение

Созданная программа позволяет получить вероятностные оценки диагнозов используя статистические данные и наблюдаемые у пациента симптомы. Преимущество языка C++ состоит в возможности создания кроссплатформенного приложения и удобного интерфейса. Также можно добавлять и редактировать данные о пациентах, используя БД и SQL.

Стоит отметить, что программа не зависит от количества гипотез и позволяет работать с неограниченным количеством утверждений.

Редактируя интерфейсную часть приложения, но не изменяя «ядро» программы, можно получить приложение для диагностирование любого заболевания.

В перспективе данные с медицинского оборудования можно автоматически вносить в программу, что ускорит постановку диагноза.

Литература

1. А. Брукинг, П. Джонс, Ф. Кокс Экспертные системы под редакцией Р. Форсайта. – М.: Радио и связь, 1987. – 224с.
2. Логашенко И.Б. Современные методы обработки экспериментальных данных [Электронный ресурс].
3. Юрьев. Д. В. Магистерская работа по теме: «Разработка специализированной компьютерной системы для постановки диагноза по биохимическому анализу крови» [Электронный ресурс].
4. Курсовая работа на тему: Разработка программы в помощь медикам в постановке диагноза [Электронный ресурс].

Работа выполнена при поддержке к. т. н, доцента кафедры "Прикладная математика", доцента кафедры "Лазерные и оптико-электронные системы" МГТУ им. Н.Э. Баумана Алехновича В. И.

ТЕСТ НА ПРОНИКНОВЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ TEENSY

Хаперская В.Ю.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ8, Москва, Россия

TEENSY USB HID FOR PENETRATION TESTERS

Haperskaya V.Y.
BaumanMSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В работе представлено программируемое HID-устройство, подключаемое по USB, основанное на программируемом микроконтроллере Teensy. Это устройство будет полезным в тестах на проникновение, так как оно эмулирует работу мыши или клавиатуры. В большинстве компаний политика безопасности запрещает монтирование flash-накопителей, но подключение новой мыши или клавиатуры кажется не опасным и поэтому не запрещено. Это значит, что устройство, будучи подключено и опознано компьютером как клавиатура, может выполнить сценарий с полезным специалисту по тестированию на проникновение функционалом. Сценарий заранее программируется на устройство и может быть запущен после его подключения, через заданный промежуток времени или после выполнения определенных условий(изменения уровня света, шума и тд.). Также устройство может начать выполнять команды после авторизации пользователя с высоким уровнем доступа или может работать как троян и об этом никто не будет подозревать.

Abstract
In this project I introduce a device, that can be extremely useful for a penetration tester. This is a programmable USB HID keystroke dongle, which is a small device based around the Teensy microcontroller development board. Most company policies forbid mouting flash drives but adding a new usb keyboard or mouse is rarely turned off. This USB HID device can act like a USB mouse/keyboard, therefore it will be able to run without problems and drawing attention. It allows users to program in keystrokes and mouse macros that can execute when the device is plugged in, after a set time, or when certain environmental conditions are met (light, noise, temperature, etc.) This device can be left behind to execute commands when someone with elevated privileges is likely to be logged in, or can be as a Trojan device to unsuspecting targets.

Введение

Хотя на многих компьютерах по умолчанию отключен автозапуск, обычно добавление новой USB клавиатуры или мыши происходит автоматически. Запрограммированное на эмуляцию нажатий клавиатуры USB устройство может сработать там, где автозапуск с переносного носителя отключен.

USB HID устройству не нужно устанавливать специальных драйверов на современных операционных системах так же, как и flash-картам не нужны драйвера, если компьютер поддерживает USB носители. Это позволит быстро выполнить задачу в терминале не привлекая внимания так, как если бы это делал человек, сидя за компьютером. Возможен запуск различных команд.

Устройство можно запрограммировать запускаться по таймеру. Специалист по тестированию на проникновение программирует устройство ожидать какое-то время после установки и выполнить свою задачу тогда, когда в системе авторизуется пользователь с повышенным уровнем привилегий. Если правильно угадать время, то можно получить администраторский доступ к компьютеру. Конечно, кроме таймера можно реализовать множество других вариантов. Например, к устройству можно подключить тепловой сенсор или фоторезистор и запрограммировать его на выполнение команд, когда включится кондиционер или свет в офисе.

В этой статье я опишу свою реализацию программируемого USB устройства, основанного на программируемой плате с микроконтроллером под названием Teensy. К ней будут подсоединены 4 переключателя и фоторезистор. В зависимости от положения переключателей устройство будет выполнять различные задачи, чтобы специалист по

тестированию на проникновение мог перепрограммировать устройство на лету. Фоторезистор будет регистрировать изменения в интенсивности освещения, чтобы устройство запускалось, когда свет включен.

Преимущества устройства:

1. Работает быстро, полезно если время доступности целевой системы ограничено.
2. Работает, даже если автозапуск отключен.
3. Не привлекает внимания.
4. Устройство может срабатывать по таймеру, когда авторизуется нужный пользователь или при определенных условиях.
5. Может быть скомбинировано с flash-накопителем.
6. Может быть внедрено в любое периферийное USB устройство.

Возможные задачи:

1. Добавить своего пользователя.
2. Запустить программу с произвольным функционалом.
3. Скопировать ценные файлы на SD-карту или залить их на файло-обменник.
4. Зайти на веб-сайт, для которого в браузере есть cookie-файлы и совершить транзакцию.

1 Сценарии атак и уязвимые системы

Насколько мне известно, практически не существует программного обеспечения, которое бы блокировало подобное устройство. Оно будет работать даже если запрещено подключение флеш-карт. Поэтому вариантов атак очень много. Teensy устройство может использоваться во многих сценариях; самые вероятные это внутренние и внешние тесты на проникновение. В первом сценарии вы можете подождать, пока кто-нибудь оставит систему незаблокированной на несколько секунд или оставить устройство на чьем-то столе, замаскировав его под сменный носитель или любое USB устройство.

Во втором сценарии можно применить методы социальной инженерии, для того чтобы заставить кого-то вставить устройство в свой компьютер. Опять же Teensy может быть замаскирована под сменный носитель , USB-игрушку или мышь и оставлена на парковке, у входа в здание или у охранника.

Микроконтроллер, необходимый для этого проекта можно купить на pjrc.com и amazon.

Программируемый микроконтроллер называется Teensy. Он разработан Полом Штоффрегеном и PJRC. Его можно программировать на C, или в среде разработки Arduino, и он поддерживает USB HID по умолчанию.

Технические характеристики:

1. 32 бит ARM Cortex-M4 48 MHz CPU;
2. 128K Flash память, 16K RAM, 2K EEPROM;
3. 14* аналоговые входы высокого разрешения (13 битиспользуемые, 16 бит аппаратные);
4. 34* цифровыеI/Опины (10 совмещены с аналоговыми);
5. PWM выходы;
6. 8 таймеров для интервалов/задержек, отдельно от PWM;
7. USBсвыделеннойDMAпередачей памяти;
8. 3 UART (последовательных);
9. SPI, I2C, I2S, IR модулятор;
10. I2S (для аудио интерфейса высокого качества);
11. RealTimeClock (с добавляемыми пользователем 32.768 кристаллом и батареей);
12. DMAканалы общего назначения (отдельно отUSB);

13. Вводы для датчиков касания;

На рисунке 1 показана схема возможной реализации, с сенсором освещения, и несколькими переключателями. Дополнительно можно добавить тепловые сенсоры или SD карту в зависимости от потребностей специалиста по тестированию на проникновения.

Затем устройство можно поместить в корпус сменного носителя, мыши или клавиатуры.

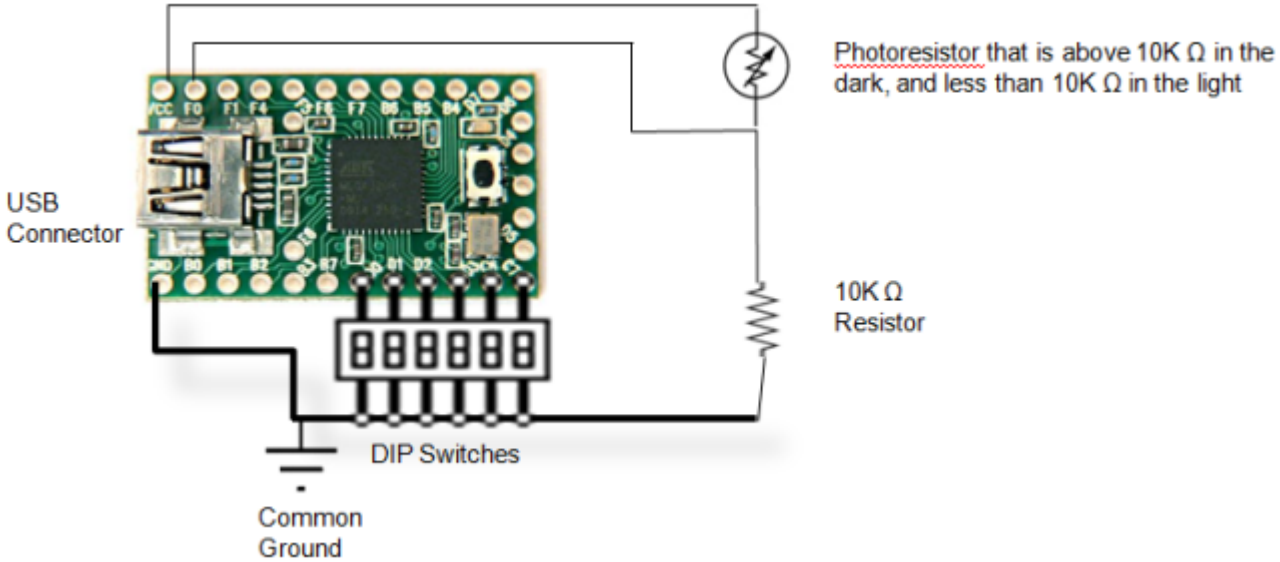


Рис. 1. Схема устройства

Представленная реализация устройства имеет четыре переключателя и фоторезистор, который реагирует на изменение интенсивности света. Компоненты были припаяны к макетной плате, вместо того чтобы подсоединять их напрямую к Teensy. Это позволяет легко менять схему на другую при необходимости.

Хотя для Teensy не трудно писать свой код, есть много библиотек, которые могут облегчить жизнь пентестеру. Можно отметить библиотеки PHUKD от IronGeeks, SET Teensypayloads, проект Peensy и Kautilya, которая является набором полезных нагрузок с широким выбором параметров.

Kautilya- это набор инструментов, цель которого сделать Teensy полноценным инструментом пентестера. Она написана на ruby и позволяет пользователю выбирать нужные программы из интерактивного меню. Также ему требуется ответить на некоторые вопросы, чтобы настроить полезную нагрузку под себя.

В Kautilya есть полезные нагрузки для пре- и пост-эксплуатации. Они содержат набор команд для операционной системы, встроенные инструменты, скрипты на bash/powershell или комбинацию команд и скриптов. Вот некоторые из них:

- Кейлоггер;
- Скрипт, скачивающий и запускающий программу;
- Модули MetasploitFramework;
- Перехватчик сетевых пакетов;
- Программа для взлома защиты браузера;
- hashdump (программа для сбора паролей системы);
- Полезные нагрузки для Windows;
- Полезные нагрузки для Linux.

2 Ограничения

Teensy все еще не может считывать сигналы от системы. Это одно из главных ограничений в написании полезных нагрузок для Teensy, так как из-за этого они хуже

реагируют на изменения в системе. Необходимо заранее предопределить возможные ситуации и задать для них действия в полезной нагрузке, так как невозможно получать ответы от системы в процессе работы. Но если используются мощные скриптовые языки вроде powershell или bash, то это ограничение становится не таким важным.

Другое ограничение, это недостаток памяти в Teensy, однако к ней можно присоединить SD карту. Также некоторые полезные нагрузки не очень скрытны и могут привлечь внимание осторожного пользователя.

Заключение

Таким образом, в этой статье была описана реализация программируемого USB устройства на базе микроконтроллера Teensy. Реализация была протестирована на примере нескольких атак на компьютер с операционной системой Windows 8, и большая часть атак оказалась успешной. Это доказывает, что такое устройство может быть полезным для тестов на проникновение, хотя и возможны некоторые проблемы, такие как недостаточная скрытность для некоторых полезных нагрузок, невозможность читать сигналы системы, затруднения с не-английской раскладкой, стоящей по умолчанию. В будущем можно сделать множество улучшений, решающих эти проблемы и облегчающие процесс использования, а также добавить дополнительные возможности.

Литература

1. Natan M. Teensy AVRs used in penetration testing. Доступно по ссылке: http://hackaday.com/2011/06/28/teensy-avrs-used-in-penetration-testing, обращение 15.04.2014.
2. Mittal N. Kautilya: Teensy beyond shell. Доступно по ссылке: http://www.slideshare.net/nikhil_mittal/kautilya-teensy-beyond-shell, обращение 15.04.2014.
3. Advanced Teensy Penetration Testing Payloads. Доступно по ссылке: http://www.offensive-security.com/offsec/advanced-teensy-penetration-testing-payloads, обращение 15.04.2014.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ВСТРАИВАНИЯ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В АУДИОКОНТЕЙНЕР В ФОРМАТЕ WAV

Кочев А.В.
Научный руководитель: к.т.н., доцент, Волосатова Т.М.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра РК6, Москва, Россия

DEVELOPMENT OF THE PROGRAM COMPLEX OF EMBEDDING OF TEXT INFORMATION IN THE AUDIOCONTAINER IN THE WAV FORMAT

Kochev A.V.
Supervisor: Ph.D,ass Prof., Volosatova T.M.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье рассмотрено стеганографическое сокрытие информации методом фазового кодирования, описаны достоинства стеганографических методов сокрытия информации.

Annotation
This article presents the topic of steganography hiding information using the method of phase encoding. It describes the advantages of steganography methods of information hiding.

Введение

При встраивании информации в аудиоконтейнер существует проблема восприятия слуховой системой человека артефактов встраивания (искажения аудиоконтейнера). Для каждого аудиофайла восприятие артефактов проявляется при различной силе встраивания и зависит напрямую от свойств самого аудиофайла. Задача пассивного противника состоит в определении факта наличия в контейнере сокрытых данных, при этом делается допущение о том, что он может перехватывать все посланные контейнеры и анализировать их как по отдельности, так и в совокупности. В случае если пассивному противнику удалось верно определить факт наличия скрытого сообщения в контейнере, он может пытаться извлечь его с целью ознакомления с его содержанием. Если же пассивный противник не сможет определить факт наличия сообщения, то у него не будет оснований для анализа контейнера.

Разработка программного комплекса встраивания стего в аудиоконтейнер в формате wav

Для разработки алгоритма за основу взят стеганографический алгоритм фазового кодирования, как наиболее робастного на сегодняшний день(Происходит замена исходного звукового элемента на относительную фазу, которая и является секретным сообщением. Фаза подряд идущих элементов добавлена таким образом, чтобы сохранить относительную фазу между исходными элементами). Установлено, что на восприятие искажений аудио при встраивании стего в область фаз аудиоконтейнера влияет:

- область встраивания стего (в низкочастотном блоке, артефакты встраивания становятся различимее, в отличие от встраивания в средние и высокие частоты);
- размер и частота дискретизации аудиоконтейнера.

Как известно, чтобы минимизировать вероятность обнаружения изменения слуховой системой человека, необходимо выбрать наиболее подходящее соотношение стего к контейнеру. Как известно, для извлечения фаз из аудиоконтейнера применяются спектральные преобразования, в частности, быстрое преобразование Фурье(БПФ) к аудиосигналу, подвергнутому дискретизации в соответствии с требованиями теоремы Котельникова.

Чтобы выявить различимость искажений аудио, использовалась слуховая система человека и сравнение спектрограмм исходного и модифицированного контейнеров при различных соотношениях. В качестве примера рассмотрим соотношения 1:2, 1:4 и 1:16.

На рис. 1 представлена схема реализованного стегоалгоритма.

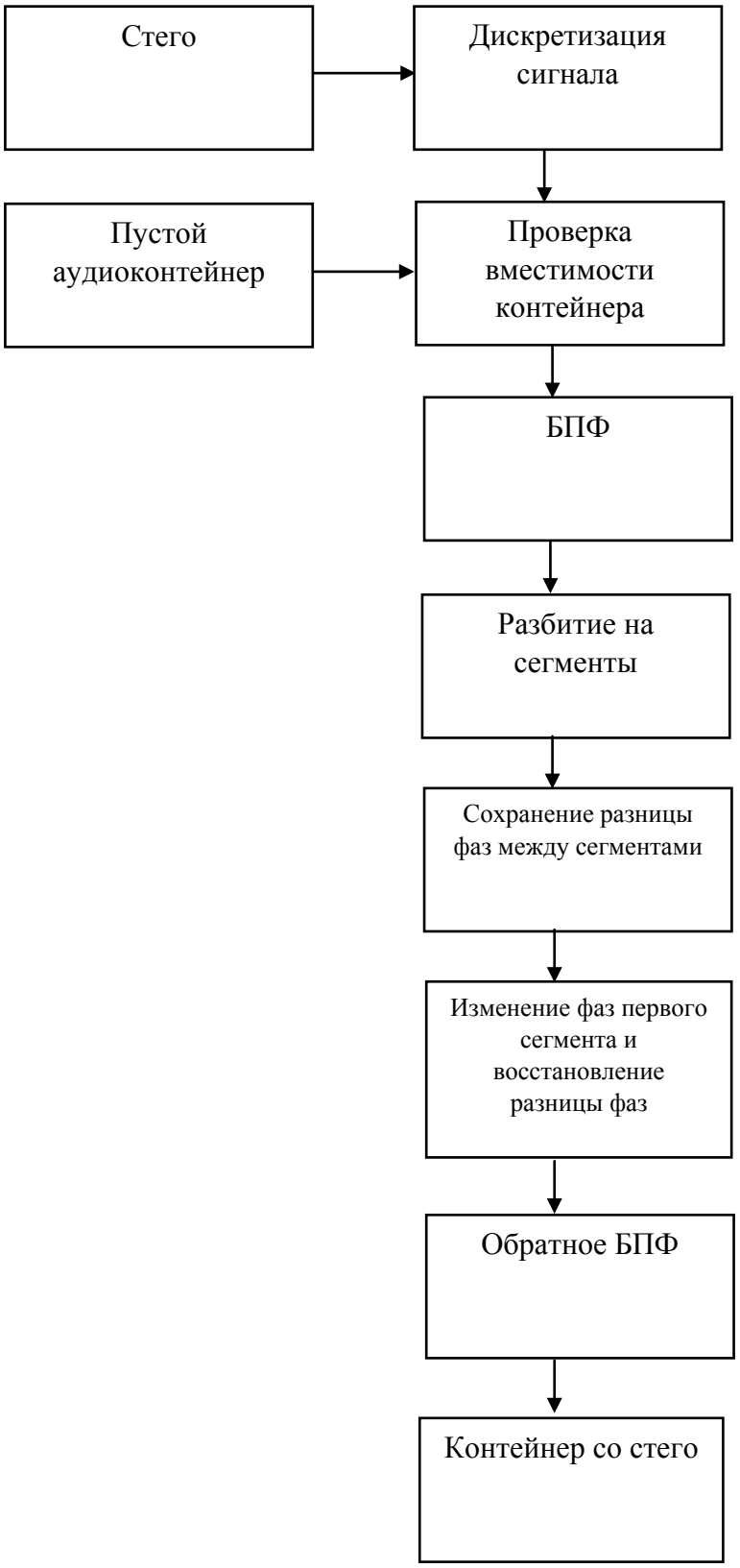


Рис. 1. Схема алгоритма фазового кодирования

В таблице 1 представлены результаты эксперимента по успешности передачи (рассчитывается как процент верно переданных символов).

На рисунках 2-4 представлены участки спектрограмм исходного и модифицированного контейнеров(формат исходного контейнера –wav, ширина потока данных 16 бит, длительность 00:00:46. Модифицированный контейнер содержит 100 символов.) соотношениях 1:2, 1:4, 1:16.

Таблица 1.

Количество символов	Соотношение размера сегмента исходного контейнера к размеру стего	Успешность передачи	Количество успешно переданных символов
100	1:2	16%	16
	1:4	64%	64
	1:16	100%	100
200	1:2	8%	16
	1:4	52%	104
	1:16	100%	200

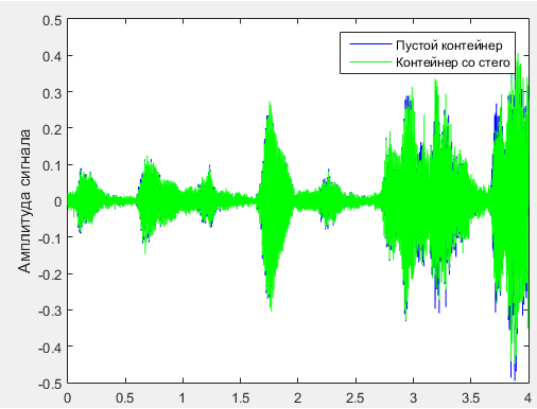


Рис. 2. Осциллограммы пустого и модифицированного контейнера при соотношении 1:2

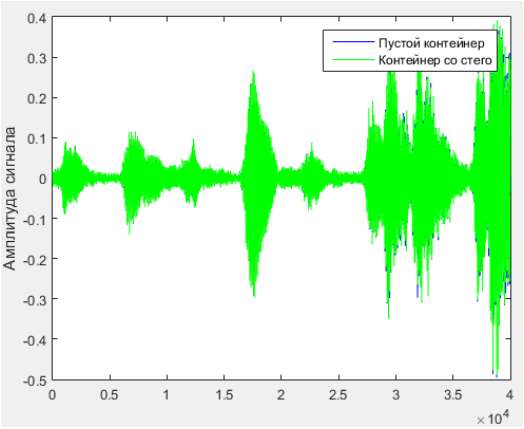


Рис. 3. Осциллограммы пустого и модифицированного контейнера при соотношении 1:4

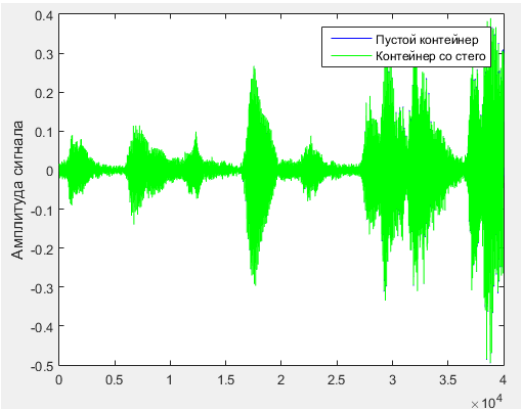


Рис. 4. Осциллограммы пустого и модифицированного контейнера при соотношении 1:16

Результаты анализа экспериментальных исследований

Опытным путем выявлено, что при помощи слуховой системы человека невозможно выявить искаженияв контейнере при соотношении стего к размеру сегмента исходного контейнера равному 1:16, так как человеческое ухо воспринимает не значения фазы, а только их разность(в связи с этим число сегментов должно быть не меньше 2. Соответственно соотношение стего к исходному контейнеру должно быть не менее 1:32), а так же нечувствительно к незначительному изменению громкости. В случаях с меньшим соотношением на спектрограммах (рисунок 2 и рисунок 3)можно заметить, что уровень скрытости конфиденциального сообщения является недопустимо низким.

Заключение

Основное достоинство стеганографии перед шифрованием – сокрытие факта передачи сообщения. Этот же фактор является и основной сложностью при реализации.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

- разработанный и верифицированный программный комплекс позволяет выбрать аудио-контейнер, позволяющий встраивать текст (стего), отвечающий показателям робастности;
- разработанное ПО применимо для кодирования сообщений, требующих высокой точности.

Литература

1. Чичварин Н.В. «Стеганография и стегоанализ». - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. 90 с.
2. Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю. «Компьютерная стеганография». - Киев: МК-Пресс, 2006. 208 с.
3. Дьяконов В., Абраменкова И. MATLAB.«Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник». - СПб.: Питер, 202. 568 с.
4. Волосатова Т.М., Денисов А.В., Чичварин Н.В. «Комбинированные методы защиты данных в САПР. Информационные технологии». Приложение №5. - Изд-во Новые технологии, 2012 – 32 с.
5. Волосатова Т. М. «Исследования стеганографических методов защиты проектной документации от несанкционированного доступа» // Информационные технологии. 2014. № 4. С. 61-71.

СИСТЕМЫ СИНХРОННОГО ПЛАНИРОВАНИЯЦЕПОЧЕК ПОСТАВОК: ЗАДАЧИ, СТРУКТУРА, РЕШЕНИЯ

Коробков Е. В.
Научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор, Карпенко А. П.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра РК-6, Москва, Россия

ADVANCED PLANNING AND SCHEDULING SYSTEMS WITHIN SUPPLY CHAIN: TASKS, STRUCTURE, SOLUTIONS

Korobkov E. V.
Supervisor: Dr., Prof., Karpenko A. P.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье рассматриваются системы синхронного планирования цепочек поставок. Подробно исследована структура рассматриваемых систем, представлено описание задач различных модулей, составляющих данные системы, приведена иерархия связей между модулями. Кратко представлена функциональность наиболее востребованных в России систем синхронного планирования. В заключении даны характеристики рассматриваемых систем и указаны основные пути потенциального развития.

Die Inhaltsangabe
Der Artikel diskutiert fortgeschrittenen Planungssysteme innerhalb der Lieferkette. Die Struktur dieser Systeme darin ausdrücklich beschrieben wird, ist unterschiedlich fortgeschrittenen Planungssysteme Module Eigenschaften gegeben, die Verknüpfung Hierarchie zwischen den Modulen betrachtet. Die Funktionalität der beliebtesten fortgeschrittenen Planungssysteme an Russland zusammengefasst. Abschließend werden die Eigenschaften der beschriebenen Systeme gegeben und mögliche Entwicklungstrends identifiziert.

Введение

Цепочка поставок — это совокупность участников рынка, связанных материальным, информационным и финансовым потоками, и нацеленных на продвижение продукции от поставщика к потребителю. Все принимаемые внутри цепочек поставок решения должны координироваться между участниками цепочки. Чем более важным является принимаемое решение, тем тщательнее необходимо его подготовить. Данная подготовка является задачей *синхронного планирования*, а именно осуществлять поддержку при принятии решений с помощью определения возможных последствий будущих действий и выбора наилучших из них.

Планирование может быть разбито на следующие фазы [1]:
— *определение* и *анализ* задачи принятия решений;
— назначение *целей*;
— *прогнозирование* будущих событий;
— *определение* и *расчет* возможных действий (*решений*);
— *выбор* наилучших решений.

1 Иерархическая система планирования

При составлении модели цепочек поставок необходимо, с одной стороны, учитывать ограничения реального мира (дефицит производственных мощностей, трудовых ресурсов, материалов, комплектующих и т.д.), а с другой — абстрагироваться от реальности для упрощения модели. *Прогностические* и *имитационные модели* пытаются предсказать будущие события и объяснить взаимосвязь между входными и выходными параметрами систем, однако не в состоянии выбрать в соответствии с заданными условиями наилучшее

решение из множества возможных, что является задачей *оптимизационных моделей*, отличающихся от вышеупомянутых наличием целевой функции, которую необходимо максимизировать или минимизировать.

Справедливость прогноза ограничивается *горизонтом планирования*, по достижении которого необходимо составление нового плана, учитывающего текущий статус цепочки поставок. В зависимости от длины горизонта планирования и важности принимаемых решений можно выделить три уровня планирования [2]:

— *долгосрочное* (более 24 месяцев) — стратегический уровень;

— *среднесрочное* (от 3 до 24 месяцев) — тактический уровень;

— *краткосрочное* (до 3 месяцев) — операционный уровень.

Примитивным способом планирования является выбор наилучшего варианта среди альтернатив по одному критерию. Основными недостатками такого подхода являются наличие нескольких критериев, подразумевающих конфликт интересов и неоднозначность в определении наилучшего варианта, наличие большого числа альтернатив, а также влияние неопределенности на точность прогнозирования.

Для уменьшения различий между прогнозом и реальностью используются два способа: *скользящий горизонт планирования* и *событийное планирование*. Первый заключается в использовании сформированного плана только в течение фиксированного периода времени в рамках горизонта планирования и последующий пересмотр плана в соответствии с изменившимися условиями. Второй состоит в пересмотре плана при возникновении непредвиденных событий.

Тремя основными характеристиками систем синхронного планирования являются [3–5]:

— *целостное планирование* всей цепочки поставок;

— использование *оптимизационных методов планирования*;

— *иерархическая система планирования*.

Основной идеей иерархической системы планирования является декомпозиция общей задачи планирования на *модули планирования*, т.е. использование частных планов различных уровней: от долгосрочных и грубых до краткосрочных и детализированных. При этом планы низших уровней согласуются с планами высших. Степень детализации различных уровней определяется объединением (разделением) информации о продукции и ресурсах, а также временных промежутков. Модули связаны между собой вертикальными и горизонтальными информационными потоками, с помощью которых результаты высших уровней накладывают ограничения на нижние, а результаты с последних предоставляют обратную связь о выполнении планов.

2 Матрица планирования цепочек поставок

Вся сеть цепочек поставок может быть разделена на внутренние цепочки поставок каждого из участников сети, состоящие из четырех основных процессов: *снабжения*, *производства*, *дистрибуции* и *продаж*. *Матрица планирования цепочек поставок* систематизирует задачи планирования в аспектах горизонта планирования и процессов цепочек поставок.

2.1 Задачи синхронного планирования внутри цепочек поставок

Долгосрочные, *среднесрочные* и *краткосрочные* задачи планирования цепочек поставок представлены в Табл. 1. Долгосрочные задачи показаны без отношения к конкретному процессу, чтобы подчеркнуть всесторонний характер стратегического планирования. Модули программного обеспечения систем синхронного планирования могут отличаться от представленных как большей детализацией отдельных компонентов, так и объединением нескольких смежных.

2.2 Информационные потоки

Существует два типа информационных потоков, выделяемых в матрице планирования цепочек поставок: *горизонтальные* и *вертикальные*.

Первые устремлены по направлению к потребителю и включают в себя покупательские заказы, прогнозы по продажам, внутренних заданий по пополнению складских запасов и производству, а также по закупкам у поставщиков. Наличие обратных горизонтальных связей существенно улучшает эффективность работы цепочек поставок.

Нисходящие вертикальные потоки согласуют планы низших уровней, на основе результатов планов высших уровней. Восходящие потоки предоставляют высшим уровням более детализированную информацию об эффективности работы цепочек поставок (текущие затраты, темпы производства, сроки и т.д.). Данная информация может быть использована на высших уровнях при дальнейшем планировании процессов низших уровней.

Таблица 1 - Матрица планирования цепочек поставок

	Закупки	Производство	Дистрибуция	Продажи
Долгосрочные задачи	– план по материалам – выбор поставщиков – создание пулов	– расположение производства – система производства	–структура физического распределения	– план по продукции – стратегический план по продажам
Среднесрочные задачи	– план по кадрам – план потребности в материалах – заключение контрактных обязательств	– основной производственный план – план по мощностям	– план по распространению	– среднесрочный план по продажам
Краткосрочные задачи	– краткосрочный план по кадрам – закупка материалов	– определение размера партий – планы по загрузке оборудования – управление производственным помещением	– пополнение складских запасов – план по перевозкам	– краткосрочный план по продажам

3 Российский рынок систем синхронного планирования

Наиболее востребованными системами синхронного планирования цепочек поставок и производства в России являются «Галактика АММ» от «Корпорации Галактика» и «ИТРП: Процессное производство» от Института Типовых Решений Производства, на чью долю приходится почти 40% отечественного рынка данной продукции[6]. Функциональность наиболее востребованных в России систем приведена в табл. 2.

Как видно из табл. 2 на российском рынке систем синхронного планирования не представлено универсального решения для удовлетворения всех потенциальных потребностей клиентов.

Таблица 2 - Функциональность наиболее востребованных в России систем синхронного планирования

	Галактика АММ	ИТРП: ПП	Троника КИС	PreactorAPS	OrtemsAPS	1С: ОУП	JDAFactoryPlanner
Анализ «Что, если…»							•
Контроль качества		•	•				
Оптимизационный аппарат	•	•		•	•	•	•
Оптимизация «узких мест»				•			•
Планирование в реальном времени	•						•
Планирование на основе приоритетов							•
Планирование по материалам	•	•	•	•	•	•	•
Планирование по мощностям	•	•	•	•	•	•	•
Планирование сбыта и спроса	•	•	•	•	•	•	•
Планирование с учетом ограничений	•			•	•	•	•
Поддержка нескольких предприятий	•	•					
Событийное моделирование							
Составление расписаний	•	•	•	•	•	•	•

Частично, это можно объяснить необходимостью персонализации решений под требования конкретных отраслей и заказчиков, что, однако, все равно позволяет говорить о широкой возможности для развития и инноваций в данном сегменте рынка, а также необходимости появления новых игроков.

Заключение

Системы синхронного планирования цепочек поставок применяются для осуществления поддержки принятия решений с помощью определения возможных последствий будущих действий и выбора наилучших из них. Характерной особенностью данных систем является наличие наряду с прогностическими и имитационными модулями оптимизационных. Задачи планирования рассматриваются на различных уровнях, обмен информации между которыми происходит посредством материальных, информационных и финансовых потоков. Наличие обратных связей существенно улучшает характеристики подобных систем.

Основными путями развития систем синхронного планирования видятся следующие: а) повышение точности прогностических моделей в плане учета неопределенности, использование анализа «Что, если…»; б) развитие планирования с учетом ограничений и приоритетов; в) развитие событийного моделирования; г) донесение до потенциальных клиентов информации о подобных системах и перспективах повышения эффективности работы всей цепочки поставок после их внедрения.

Литература

1. DomschkeW., SchollA. GrundlagenderBetriebswirtschaftslehre: eineEinführungausentscheidungsorientierterSicht, Berlin, 2008. 414 p.
2. Anthony R. N. Planning and control systems : a framework for analysis, Harvard University, Boston, 1965. 180 p.
3. Fleischmann B., Meyr H., Wagner M. Advanced planning / Supply chain management and advanced planning, Springer Berlin Heidelberg, 2015. PP. 71–95.
4. Fleischmann B., Meyr H. Planning hierarchy, modeling and advanced planning systems / de Kok A., Graves S. Supply chain management: Design, coordination, operation. Handbooks in Operations Research and Management Science, Vol. 11, Amsterdam: North-Holland, 2003. PP. 457–523.
5. Schneeweiss C. Distributed decision making, 2nd edition, Berlin: Springer, 2003. 528 p.
6. APS (Advanced Planning and Scheduling). Date Views 16.01.2015. http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:APS_(Advanced_Planning_and_Scheduling)_-_система_синхронного_планирования.

МЕТОД LSB ДЛЯ СОКРЫТИЯ ТЕКСТОВОЙ И ГРАФИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В АУДИОСРЕДЕ

Козарь А.А.
Научный руководитель: к.т.н., доцент, Волосатова Т.М.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра РК, Москва, Россия

LSB METHOD FOR HIDING TEXT AND GRAPHIC DOCUMENTS IN AUDIO ENVIRONMENT

Kozar A.A.
Supervisor: Ph.D., Docent, Volosatova T.M.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье представлена краткая информация о стеганографии как методе защиты данных в САПР. Подробно рассмотрен метод замены наименьшего значимого бита, его алгоритм. Рассматриваются особенности использования аудиозаписей в качестве контейнеров. В исследовательской части проведено сравнение искажений контейнеров в зависимости от количества кодируемых бит. Представлены рекомендации по выбору контейнера.

Abstract
The article presents a brief overview of steganography as a method of data protection in CAD. It describes the LSB method and it’s algorithm in details. The features of the use of audio recordings as containers are also described. The comparison of the distortion of the containers depending on the number of encoded bits is presented in the research part of the article. Provides recommendations for the choice of container.

Введение

Быстрое развитие компьютерных информационных технологий, информационных сетей и технологии Интернет провело к тому, что информация приобрела огромную ценность. Вместе с этим появилась необходимость в защите информации от несанкционированного доступа. Обычно говорят, что подобная информация является конфиденциальной, секретной, приватной.

Защита информации от несанкционированного доступа является в настоящее время одной из самых актуальных проблем.

Одним из самых известных и часто используемых методов для решения этой проблемы можно считать криптографию – «науку о шифрах». Криптография занимается методами преобразования информации, которые бы не позволили противнику извлечь ее из перехватываемых сообщений. При этом по каналу связи передается уже не сама защищаемая информация, а результат ее преобразования с помощью шифра, и для противника возникает сложная задача вскрытия шифра [1, с. 11].

Однако применение криптографии подразумевает, что факт шифрования информации не скрыт, что существенно упрощает расшифровку посторонними лицами. Кроме того, деятельность, связанная с криптографией, является незаконной, или же подлежит обязательному лицензированию в ряде стран.

Альтернативой использованию криптографии является стеганография – метод организации передачи информации, скрывающий сам факт передачи [4]. Такой подход позволяет зашифровывать сообщения в безобидные послания таким образом, что заподозрить наличие встроенного сообщения невозможно или практически невозможно. Таким образом, безопасность передачи информации обеспечивается как по внешним, так и по внутренним каналам связи, при этом к самим каналам не предъявляются никакие требования, они могут быть полностью открытыми.

1 Цифровая стеганография, сокрытие данных в аудиофайлах

Цифровая стеганография – направление классической стеганографии, основанное на сокрытии и внедрении дополнительной информации в цифровые объекты, вызывая при этом некоторое искажение этих объектов. Как правило, в качестве контейнеров используются мультимедиа-объекты – аудиосигналы и изображения. При этом ввиду особенностей органов чувств человека, изменения остаются незамеченными для среднестатистического наблюдателя.

Наиболее перспективными считаются цифровые методы стеганографии в аудиосреде. Сокрытие данных в аудиосигналах является особенно интересным для исследования, поскольку слуховая система человека (ССЧ) работает в сверхшироком динамическом диапазоне и, кроме того, является чувствительной к белому шуму. Отклонения в звуковом файле могут быть выявлены вплоть до одной десятимиллионной (на 70 дБ нижу уровня внешних шумов) [3, с. 196].

Несмотря на вышесказанное, существуют определенные приемы для сокрытия информации в аудиосреде. ССЧ, при ее широком динамическом диапазоне, характеризуется относительно малым разностным диапазоном. Это способствует тому, что громкие звуки способны заглушать более тихие. Кроме того, ССЧ способна различать только относительную фазу, не распознавая абсолютную.

Кроме того, использование аудиофайлов в качестве контейнеров для сокрытия информации является более выгодным с точки зрения объемов хранимой информации, поскольку, даже наиболее крупные графические изображения и полотна, при оцифровке, значительно уступают по объему среднему аудиофайлу.

Приведенные особенности способствуют удачному использованию аудиосреды для стеганографической защиты информации.

2 Реализация программной системы и экспериментальное исследование

2.1 Описание метода LSB

Одним из простейших методов цифровой стеганографии является метод замены наименьших значащих бит (НЗБ) или LSB метод (Least Significant Bit). Суть этого метода состоит в замене последних значащих бит в контейнере на биты встраиваемого сообщения. В качестве контейнера может выступать изображение, а также аудио- или видеозапись. Количество бит, используемых для кодирования, может варьироваться.

В данной работе в качестве контейнера используется аудиофайл по причинам, описанным выше.

2.2 Исследование влияния количества кодируемых бит на искажение контейнера

Было отмечено, что количество кодируемых младших бит может быть различным. Сравним искажения аудиоконтейнера при различном количестве заменяемых бит.

Была создана программная система в среде GUI Matlab, позволяющая производить сокрытие текстовой и графической информации в аудиосреде, а также последующее сравнение амплитуд заполненного и пустого контейнера.

На рис. 1 и рис. 2 представлено распределение амплитуд пустого контейнера-сигнала длительностью 3 сек и наложенного на него аудиоконтейнера, заполненного текстовой информацией (150 символов) с кодированием, соответственно, двух бит и четырех бит.

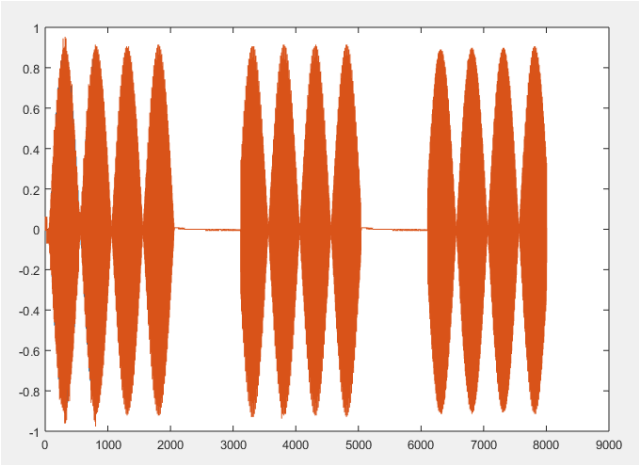


Рис. 1. Наложение амплитуд пустого и заполненного контейнера длительностью 3 секунды (2 бита)

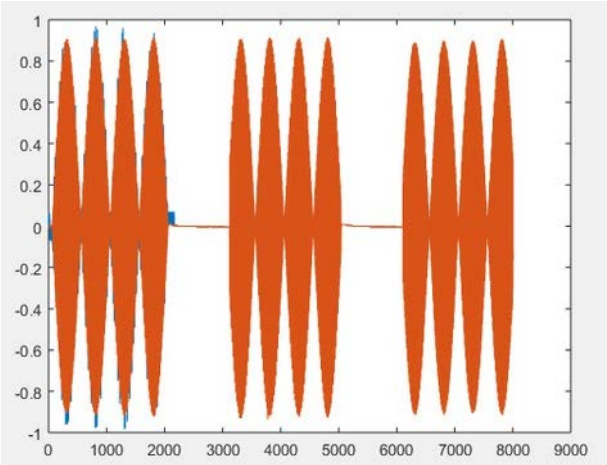


Рис. 2. Наложение амплитуд пустого и заполненного контейнера длительностью 3 секунды (4 бита)

Несмотря на то, что при оценке контейнеров на слух, для среднестатистического слушателя разница будет практически не заметна, отметим более значительное искажение исходного контейнера при кодировании 4 бит.

Проведем соответствующий эксперимент, используя аудиоконтейнер большей длительности (1 минута 36 секунд) и более сложной структуры. Также используем вместо текстовой информации графическую документацию (монохромное изображение размером 130 КБ). Рассмотрим кодирование 2 бит (рис. 3) и кодирование 4 бит (рис. 4).

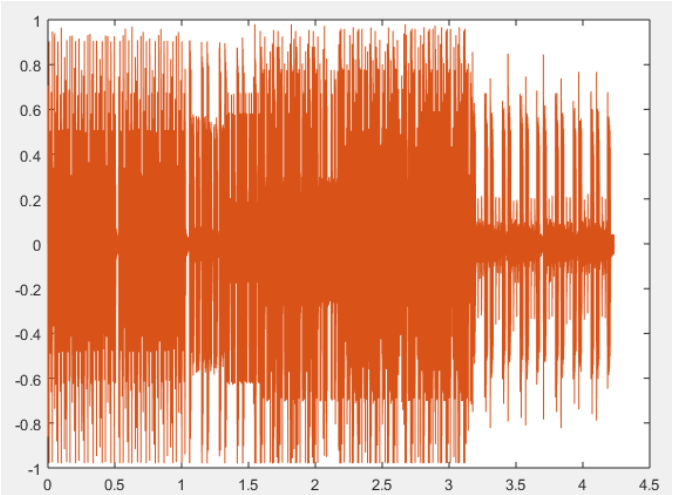


Рис. 3 - Наложение амплитуд пустого и заполненного контейнера длительностью 1 минута 36 секунд (2 бита)

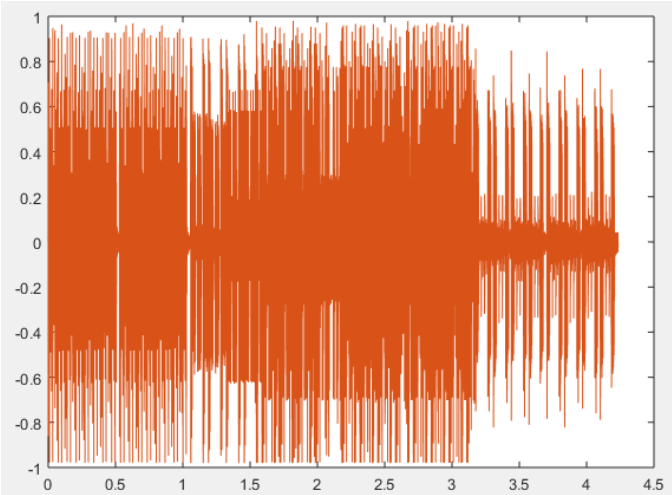


Рис. 4 - Наложение амплитуд пустого и заполненного контейнера длительностью 1 минута 36 секунд (4 бита)

При проведении данного исследования ни на графиках, ни на слух искажений контейнера отмечено не было, что позволяет предположить, что контейнеры с более сложной структурой позволяют скрывать информацию более эффективно.

На рис. 5 представлено наложение амплитуд пустого аудиоконтейнера большого размера (длительностью более 5 минут) и заполненного аудиоконтейнера, содержащего максимально возможной объем текстовой информации (установленный экспериментально).

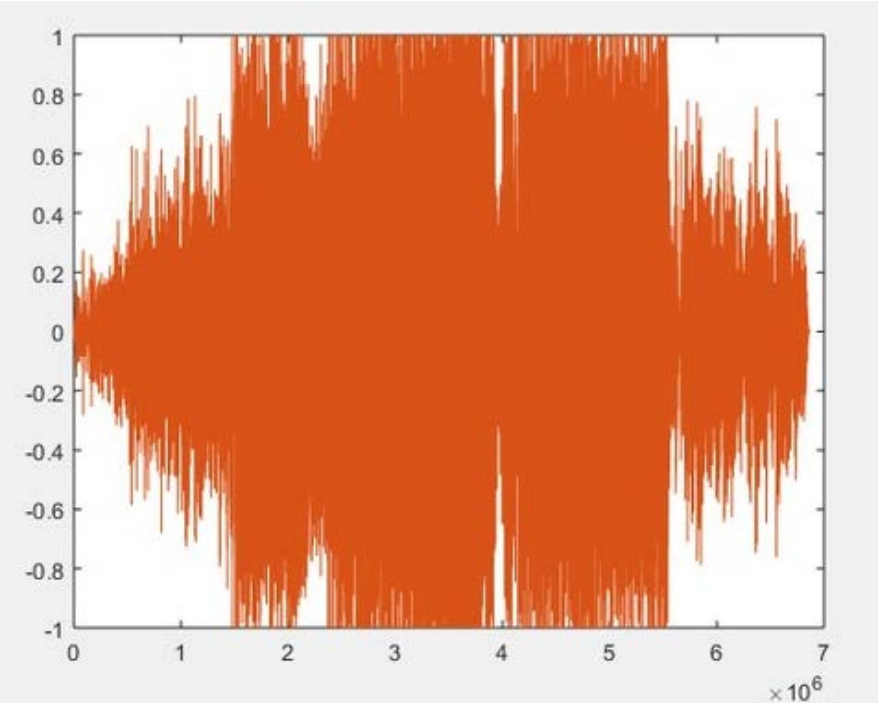


Рис. 5. Наложение амплитуд пустого и заполненного контейнера, длительностью 5 минут (4 бита)

Искажений контейнера не наблюдается, что подтверждает предположение.

Заключение

В статье поднимается проблема защиты информации и предлагается один из возможных способов решения проблемы - стеганография. Проведено исследование простейшего стеганографического метода для сокрытия информации – метода LSB. Также проведена исследовательская работа, демонстрирующая зависимость искажения контейнера от выбранного количества кодируемых бит.

Исследование было произведено с помощью программного комплекса GUI Matlab, который предоставляет широкие возможности для работы с различными типами мультимедиа-объектов.

Литература

1. Ященко В. В. Введение в криптографию. — Изд-во Питер, 2001 – 289 с.
2. Волосатова Т.М., Денисов А.В., Чичварин Н.В. Комбинированные методы защиты данных в САПР. - Информационные технологии, Приложение №5. — Изд-во Новые технологии, 2012 – 32 с.
3. Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. — Изд-во МК-Пресс, 2006 – 288 с.
4. Волосатова Т.М. Исследования стеганографических методов защиты проектной документации от несанкционированного доступа // Информационные технологии. - Изд-во Новые технологии (Москва) ISSN: 1684-6400. 2014. № 4. С. 61-71.
5. Чичварин Н.В. «Стеганография и стегоанализ» — Блог Чичварина Н.В.

РАСШИРЕННАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПОДЗАПРОСОВ В ORACLE

Козлов А.А., Абасов Р. К.
Научный руководитель Власов А.И.
МГТУим.Н.Э.Баумана,кафедраИУ4,Москва,Россия

ENHANCED SUBQUERY OPTIMIZATIONS IN ORACLE

Kozlov A. A., Abasov R.K.
Supervisor: Vlasov A.I.
Bauman MSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье описывается расширенная оптимизация подзапросов в реляционной СУБД Oracle. Рассматривается несколько методов: сращивание подзапросов , удаление подзапросов с использованием оконных функций и устранение представлений для запросов с группировкой. Эти методы распознают и устраняют избыточность в структурах запроса и преобразуют запросы к потенциально более оптимальным формам.

Abstract
This paper describes enhanced sub query optimization sin Oracle relational data base system. It discusses several techniques - sub query coalescing, sub query remov al using window functions, and view elimination forgroup-byqueries. These techniques recognize and remove redundancie sin query structure sand convert queries into potentially more optimal forms.

Введение

Современные реляционные СУБД выполняют сложные SQL-запросы, включающие в себя вложенные подзапросы с функциями агрегации (union/unionall, distinct, groupby и т.д.) Такие запросы имеют важное значение в системах поддержки принятия решений (Decision-Support System, DSS) и оперативной аналитической обработки (On-Line Analytical Processing, OLA P). В качестве метода оптимизации таких запросов принято использовать преобразование запросов [1-5].

Подзапросы – это компонент языка SQL, повышающий его уровень декларативности и выразительных возможностей. Стандарт SQL позволяет использовать подзапросы в разделах SELECT, FROM, WHERE и HAVING. Практически все подзапросы являются коррелированными, и многие из них содержат вызовы агрегатных функций. Поэтому эффективное выполнение сложных подзапросов является значительно важным для систем баз данных.

Подзапрос дает возможность решать следующие задачи:

- определять набор строк, добавляемый в таблицу на одно выполнение оператора INSERT ;
- определять данные, включаемые в представление, создаваемое оператором CREATE VIEW ;
- определять значения, модифицируемые оператором UPDATE ;
- указывать одно или несколько значений во фразах WHERE и HAVING оператора SELECT ;
- определять во фразе FROM таблицу как результат выполнения подзапроса ;
- применять коррелированные подзапросы. Подзапрос называется коррелированным, если запрос, содержащийся в предикате, имеет ссылку на значение из таблицы (внешней к данному запросу), которая проверяется посредством данного предиката.

1 Сращивание подзапросов

Сращивание подзапросов (subquaerycoalescing) — это метод, при использовании которого два подзапроса могут быть срощены в один подзапрос при определенных условиях, что позволяет свести несколько иттераций сканирования и соединения таблиц в единственную операцию. Хотя сращивание подзапросов определяется как бинарная операция, она может последовательно применяться к любому числу подзапросов. Сращивание подзапросов становится возможным, поскольку подзапрос действует как предикат фильтрации таблиц внешнего запроса.

Если два блока производят одинаковые мультимножественные результаты, то их можно считать семантически *эквивалентными*.

Блок запроса *Хвключает* другой блок запроса *Y*, если результат *Y* является подмножеством результата *X*. *X* называется *включающим (container)* блоком запроса, а *Y* — *включаемым (contained)*. Таким образом, *X* и *Y* отвечают *свойству включения (containment)*, если *Y* содержит некоторые конъюнктивные предикаты фильтрации *P*, и *X* и *Y* становятся эквивалентными, если *P* не влияют на обоснование их эквивалентности[2].

Включение — это важное свойство, которое позволяет включить поведение обоих подзапросов в срощенный подзапрос. Если для двух конъюнктивных подзапросов нарушается свойство включения, то их предикаты фильтрации невозможно конъюнктивно объединить в одном подзапросе, поскольку этот подзапрос будет возвращать только пересечение результирующих множеств строк исходных подзапросов.

На данный момент в Oracle выполняются различные типы сращивания подзапросов, когда два подзапроса с [NOT] EXISTS предстают в конъюнкции или дизъюнкции. Поскольку подзапросы с ANY и ALL могут быть преобразованы в подзапросы с EXISTS и NOT EXISTS соответственно, мы не обсуждаем здесь сращивание подзапросов с ANY/ALL. В тривиальном случае наличия двух подзапросов, которые являются эквивалентными и имеют один и тот же тип (например, либо EXISTS, либо NOT EXISTS), сращивание подзапросов заключается в удалении одного из них. Если у эквивалентных подзапросов имеются разные типы, то сращивание приводит к удалению обоих подзапроса и их замене предикатом FALSE/TRUE в зависимости от того, соединены ли эти подзапросы конъюнкцией или дизъюнкцией.

2 Сращивание подзапросов одинакового типа

Если два конъюнктивных подзапроса с EXISTS или два дизъюнктивных подзапроса с NOT EXISTS отвечают свойству включения, то они могут быть срощены в один подзапрос путем сохранения включаемого подзапроса и удаления включающего подзапроса. Для случая дизъюнктивных подзапросов с EXISTS или конъюнктивных подзапросов с NOT EXISTS сращивание может быть выполнено путем сохранения включающего подзапроса и удаления включаемого подзапроса.

Подзапросы, которые не отвечают свойству совместимости, также могут быть срощены, если их можно считать эквивалентными, не рассматривая наличия некоторого конъюнктивного фильтра и коррелированных предикатов. Так, два дизъюнктивных подзапроса с EXISTS, различающихся конъюнктивными предикатами фильтрации и коррелированными предикатами, но в остальном эквивалентные, могут быть срощены в один подзапрос с EXISTS, содержащий дизъюнкцию дополнительных (или различающимися) предикатов исходных подзапросов. Конъюнктивные подзапросы с NOT EXISTS могут быть срощены аналогичным образом.

Рассмотрим пример запроса Q1 с двумя дизъюнктивными подзапросами с EXISTS; подзапросы содержат один и тот же коррелированный предикат, но разные конъюнктивные предикаты фильтрации:

```
SELECT o_orderpriority, COUNT(*)
FROM orders
WHERE o_orderdate >= '1993-07-01' AND
  EXISTS (SELECT *
          FROM lineitem
          WHERE l_orderkey = o_orderkey AND
                l_returnflag = 'R') OR
  EXISTS (SELECT *
          FROM lineitem
          WHERE l_orderkey = o_orderkey AND
                l_receipt_date > l_commitdate)
GROUP BY o_orderpriority;
```

Листинг 1. Запрос Q1 с двумя дизъюнктивными подзапросами с EXISTS

Сращивание подзапросов объединяет два подзапроса с EXISTS в один подзапрос с EXISTS с дизъюнкцией предикатов фильтрации, что приводит к получению запроса Q2.

```
SELECT o_orderpriority, COUNT(*)
FROM orders
WHERE o_orderdate >= '1993-07-01' AND
  EXISTS (SELECT *
          FROM lineitem
          WHERE l_orderkey = o_orderkey AND
                (l_returnflag = 'R' OR
                 l_receipt_date > l_commitdate))
GROUP BY o_orderpriority;
```

Листинг 2. Запрос Q2 с двумя дизъюнктивными подзапросами с EXISTS

3 Сращивание подзапросов разных типов

Для сращивание двух конъюнктивных подзапросов, имеющих разные типы, требуется использование другого метода. Рассмотрим пример:

```
SELECT s_name
FROM supplier, lineitem L1
WHERE s_suppkey = l_suppkey AND
    EXISTS (SELECT *
            FROM lineitem L2
            WHERE l_orderkey = L1.l_orderkey
              AND l_suppkey <> L1.l_suppkey)
    AND NOT EXISTS
           (SELECT *
            FROM lineitem L3
            WHERE l_orderkey = L1.l_orderkey AND
                  l_suppkey <> L1.l_suppkey AND
                  l_receiptdate > l_commitdate);
```

Листинг 3. Запрос Q3 с двумя конъюктивными подзапросами, имеющие разные типы

Два подзапроса в Q3 отличаются только типами и тем, что в подзапросе с NOT EXISTS имеется дополнительный предикат фильтрации l_receipt_date>l_commitdate. Сращивание подзапросов приводит к запросу Q4 с единственным подзапросом с EXISTS, в итоге исключается один экземпляр таблицы lineitem.

```
SELECT s_name
FROM supplier, lineitem L1
WHERE s_suppkey = l_suppkey AND
   EXISTS (SELECT 1
           FROM lineitem L2
           WHERE l_orderkey = L1.l_orderkey AND
                 l_suppkey <> L1.l_suppkey)
           HAVING SUM(CASE WHEN l_receiptdate >
                              l_commitdate
                        THEN 1 ELSE 0 END) = 0);
```

Листинг 4. Запрос Q4 с единственным подзапросом с EXISTS

В разделе HAVING агрегатная функция возвращает общее количество строк, удовлетворяющих предикату подзапроса. Раздел HAVING —это новый предикат фильтрации, который проводит проверку на принадлежность предикату запроса какой-либо строки. Таким образом, имитирует поведение удаленного подзапроса с NOT EXISTS.

Запросы Q3 и Q4 эквивалентны тогда, когда подзапрос с NOT EXISTS является включающим запросом, а конъюнктивный подзапрос с EXISTS – включаемым запросом. Сращивание будет состоять в удалении обоих подзапросов и замене их предикатом FALSE. Условия, при наличии которых подзапрос с EXISTS возвращает несколько строк (т.е. вычисляется в TRUE), гарантируют, что подзапрос с NOT EXISTS также вернет несколько строк (т.е. будет вычислен в FALSE). В том случае, когда подзапрос с NOT EXISTS не возвращает строк, подзапрос с EXISTS также не вернет строк. Следовательно, результатом конъюнкции двух подзапросов всегда будет FALSE.

4 Исключение представлений с группировкой

В данном разделе мы обсудим метод преобразования, который называется *исключением фильтрующей таблицы (filteringtableelimination)*, основанный на идее фильтрующих соединений. *Фильтрующее соединение (filteringjoin)* — представляет из себя либо полусоединение, либо внутреннее эквисоединение, где один из столбцов соединения обладает свойством уникальности [6, 7].

Обозначим столбец, обладающий свойством уникальности, подчеркивая его имя, а для эквиполусоединения будем использовать нестандартную нотацию 0=. Пусть *R* — это некоторая таблица, а *T1* и *T2* — два экземпляра одной и той же базовой или производной таблицы *T*. В *T1* и *T2* либо имеется один и тот же набор предикатов фильтрации (если они вообще присутствуют), либо предикаты фильтрации *T1* являются более ограничительными, чем предикаты фильтрации *T2*. В следующих случаях *T2* и фильтрующее соединение могут быть исключены:

$R.X = T1.\underline{Y}$ and $R.X = T2.\underline{Y} \equiv R.X = T1.\underline{Y}$

$R.X = T1.Y$ and $R.X\ 0{=}\ T2.Y \equiv R.X = T1.Y$

$R.X\ 0{=}\ T1.Y$ and $R.X\ 0{=}\ T2.Y \equiv R.X\ 0{=}\ T1.Y$

Допустим, что первым выполняется нефильтрующее соединение, если оно есть. В данном случае фильтрующее соединение сохраняет все результирующие строки *R*, так как фильтрующее соединение может только отфильтровать строки R в отличие от внутреннего соединения, которое в свою очередь может как отфильтровать, так и продублировать строки. В фильтрующем соединении таблица *T2* оказывается избыточной, в следствии чего она может быть удалена.

Рассмотрим запрос Q5.

```
SELECT o_orderkey, c_custkey, SUM(l_quantity)
FROM orders, lineitem L1, customers
WHERE o_orderkey = l_orderkey AND
      c_custkey = o_custkey AND
      o_orderkey IN
        (SELECT l_orderkey
         FROM lineitem L2
         GROUP BY l_orderkey
         HAVING SUM(l_quantity) > 30)
GROUP BY o_orderkey, c_custkey;
```

Листинг 5. Запрос Q5

Подзапрос Q5 подвергается преобразованию устранения вложенности, что приводит к появлению запроса Q6. К встроенному представлению (производной таблице) *V2*, появившемуся в Q6 в следствии устранения вложенности, не требуется применять полусоединение, поскольку здесь имеется эквисоединение, и столбцы соединения *V2*

обладают свойством уникальности, так как являются единственными столбцами группировки в *V2*.

```
SELECT o_orderkey, c_custkey, SUM(l_quantity)
FROM orders, lineitem L1, customers,
    (SELECT l_orderkey
     FROM lineitem L2
     GROUP BY l_orderkey
     HAVING SUM(l_quantity) > 30) V2
WHERE o_orderkey = V2.l_orderkey AND
      o_orderkey = L1.l_orderkey AND
      c_custkey = o_custkey
GROUP BY o_orderkey, c_custkey;
```

Листинг 6. Запрос Q6 с устранением вложенности

Как показывает запрос Q7, где используются перестановки группировки и соединения (group-byplacement) можно получить еще одну вариацию *V1*, содержащую таблицу *L1*; в список выборки раздела SELECT представления *V2* добавляется SUM(l_quantity), что не изменяет семантику Q6 [1 - 3].

```
SELECT o_orderkey, c_custkey, SUM(V1.qty)
FROM orders, customers,
  (SELECT l_orderkey, SUM(l_quantity) qty
   FROM lineitem L2
   GROUP BY l_orderkey
   HAVING SUM(l_quantity) > 30) V2,
  (SELECT l_orderkey, SUM(l_quantity) qty
   FROM lineitem L1
   GROUP BY l_orderkey) V1
   WHERE o_orderkey = V2.l_orderkey AND
         o_orderkey = V1.l_orderkey AND
         c_custkey = o_custkey
GROUP BY o_orderkey, c_custkey;
```

Листинг 7. Запрос Q7 с использованием перестановки группировки и соединения

Здесь *V1* и *V2* — это разные экземпляры одного и того же представления, за исключением того, что предикаты фильтрации в *V2* является более ограничительными, в отличии от *V1*, из-за наличия в *V2* раздела HAVING. Также, эквисоединения *V1* и *V2* с таблицей orders производятся по столбцу o_orderkey, который в свою очередь обладает свойством уникальности, так как это единственный столбец группировки в этих представлениях; следовательно, данные два соединения являются фильтрующими соединениями. Таким образом, представление *V1* можно исключить, а ссылки на *V1* можно заменить ссылками на *V2*. Исключение фильтрующего представления из Q7 приводит к запросу Q8.

```
SELECT o_orderkey, c_custkey, SUM(V2.qty)
FROM orders, customers,
     (SELECT o_orderkey, SUM(l_quantity)
      FROM lineitem
      GROUP BY l_orderkey
      HAVING SUM(l_quantity) > 30) V2
WHERE o_orderkey = V2.l_orderkey AND
      c_custkey = o_custkey
GROUP BY o_orderkey, c_custkey;
```

Листинг 8. Запрос Q8 с исключением фильтрующего представления

Если бы представление *V2* в запросе Q6 подвергалось слиянию, то могла бы быть приведена другая аргументация использования фильтрующего соединения с тем же результатом исключения таблицы lineitem из внешнего запроса.

5 Удаление подзапросов с использованием оконных функций

Данный метод заменяет подзапросы оконными функциями [4], сокращая, тем самым, число сканирований таблицы и соединений, что в свою очередь ведет к повышению производительности запроса. В упрощенной форме рассматриваемый метод удаляет *поглощаемые (subsumed)* агрегированные подзапросы с использованием оконных функций.

Внешний блок запроса *поглощает (subsume)* некоторый подзапрос, если он содержит все таблицы и предикаты, содержащиеся в этом подзапросе. Также внешний блок запроса может содержать дополнительные таблицы и предикаты. Кроме того, в этом методе используются свойство соединения *без потерь (lossless)* и *алгебраические* агрегаты (например, SUM, MIN, MAX, COUNT, AVGи т.д.). Рассмотрим пример запроса Q9, который в свою очередь является запросом с поглощаемым агрегатным подзапросом, для которого применимо преобразование удаления подзапроса. *T1* и *T2* могут быть базовыми или производными таблицами, а также могут представлять собой соединение нескольких таблиц. Агрегат *AGG* подзапроса участвует в операции реляционного сравнения (relop) со столбцом *T2.z* внешнего запроса; корреляция в подзапросе происходит по столбцу *T1.y*.

```
SELECT T1.x
FROM T1, T2
WHERE T1.y = T2.y and
      T2.z relop (SELECT AGG(T2.w)
                  FROM T2
                  WHERE T2.y = T1.y);
```

Листинг 9. Запрос Q9 с поглощаемым агрегатным подзапросом.

Допустим, что соединение *T1* и *T2* является соединением без потерь, в котором *T2.y* — это внешний ключ, который ссылается на первичный ключ *T1.y*, то подзапрос может быть удален путем за счет введения оконной функции, где ключом раздела PARTITION BY служит столбец корреляции. Это рассматривается в запросе Q10.

```
SELECT V.x
FROM (SELECT T1.x, T2.z,
        AGG(T2.w) OVER (PARTITION BY T2.y)
          AS win_agg
      FROM T1, T2
      WHERE T1.y = T2.y) V
WHERE V.z relop win_agg;
```

Листинг 10. Запрос Q10 с соединением двух таблиц без потерь.

Для того чтобы была возможность удалить подзапрос, использующий оконную функцию, соединение между *T1* и *T2 не обязательно* должно быть соединением без потерь. Но наличие данного свойства приводит к преобразованиям, позволяющим оптимизатору использовать большее число перестановок соединений [9].

Заключение

В данной статье кратко описываются расширенные возможности оптимизации подзапросов в реляционной СУБД Oracle. Эти преобразования выполняются на основе инфраструктуры преобразований Oracle, основанной на оценке стоимости. Значимым моментом статьи является описание ряда новых методов преобразования запросов: методов сращивания подзапросов (*subquerycoalescing*), удаления подзапросов с использованием оконных функций (*subqueryremovalusingwindowfunctions*), исключения представлений в запросах с группировкой (*viewelimination*forgroup-*byqueries*), антисоединения с учетом наличия неопределенных значений (*null-awareantijoin*).

Литература

1. Witkowski, et al, «Spreadsheets in RDBMS for OLAP», Proc. of ACM SIGMOD, San Diego, USA, 2003.
2. Eisenberg, K. Kulkarni, et al, «SQL: 2003 Has Been Published», SIGMOD Record, March 2004.
3. R. Ahmed, et al, «Cost-Based Query Transformation in Oracle», Proceedings of the 32th VLDB Conference, Seoul, S. Korea, 2006.
4. M. Elhemali, C. Galindo-Legaria, et al, «Execution Strategies for SQL Subqueries», Proc. of ACM SIGMOD, Beijing, China, 2007.
5. Власов А.И., Лыткин С.Л., Яковлев В.Л. КРАТКОЕ ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО РАЗРАБОТЧИКА ПО ЯЗЫКУ PL/SQL - М.: Изд-во Машиностроение. 2000. Том 2. Сер. Библиотечка журнала "Информационные технологии". 64 с.
6. Яковлев В.Л., Яковлева Г.Л., Власов А.И. МЕТОДОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРТНО-АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ // Сборник тезисов докладов международной конференции СНГ: Молодые ученые - науке, технологиям и профобразованию для устойчивого развития: проблемы и новые решения. - М.: МГТУ им.Н.Э.Баумана. 1999. С. 81-85.
7. Резчикова Е.В., Власов А.И., Писаревская А.В. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БАЗ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ СУБД ORACLE // Тезисы докладов научно-технической конференции "170-лет МГТУ им.Н.Э.БАУМАНА". - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2000. С.35.
8. Власов А.И., Новиков П.В., Ривкин А.М. ОСОБЕННОСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИНОПТИЧЕСКИХ КАРТ, ПОСТРОЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ BIG DATA // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Приборостроение. 2015. № 6 (105). С. 46-62.

Работа выполнена в рамках подготовки сборных команд
к участию в олимпиаде "ИТ Планета"

РАЗВИТИЕ НАНОСПУТНИКОВ

Козлова Н.Ю., Козлова М.Ю.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Фомичев А.В.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ1, Москва, Россия

DEVELOPMENT OF NANOSATELLITES

Kozlova N.U., Kozlova M.U.
Supervisor: Ph.D. Fomichev A.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье проведен обзор малых космических аппаратов (КА) – наноспутников. Рассмотрены наиболее известные проекты наноспутников российских и зарубежных разработчиков, определены преимущества наноспутников и их наиболее перспективные пути развития и применения.

Abstract
The article provides an overview of small spacecraft – nanosatellites. The most famous Russian and foreign nanosatellites projects developers was considered, the advantages of nanosatellites was identified and their most promising path of development and application was defined.

Введение

Наноспутники – малые спутники, имеющие массу от 1 кг до 10 кг. Чтобы упростить создание малых спутников, в 1999 году Калифорнийским политехническим и Стэндфордским университетами была разработана платформа CubeSat. На сегодняшний день CubeSat стал международным стандартом для маленьких спутников.

Малые космические аппараты уже активно используются для дистанционного зондирования Земли, экологического мониторинга, прогноза землетрясений, исследования ионосферы. Миниатюрный спутник может стать полигоном для отработки новых технологий: на нем можно проверять все то, для чего слишком дорого или рискованно использовать «большие» спутники.

Основные назначения наноспутников:

- отработка новейших технологий, методов и программно-аппаратных решений;
- образовательные программы;
- экологический мониторинг;
- исследования геофизических полей;
- военная космонавтика.

Миниатюрные космические аппараты характеризуются коротким циклом разработки, они просты в управлении, требуют значительно меньших финансовых затрат для вывода на орбиту. Узкая специализация наноспутников позволяет повысить надежность и экономичность создаваемых на их базе информационных систем.

Одним из преимуществ использования наноспутников стандарта CubeSat является возможность этих аппаратов действовать в составе группы (роя), возможности которой не уступают возможностям традиционных больших спутников. Группа маленьких спутников обладает высокой функциональной гибкостью, а стоимость группы в целом существенно ниже стоимости большого спутника.

1 Способы выведения наноспутников на орбиту

В настоящее время существует несколько способов выведения наноспутников на орбиту.

Попутное выведение – это выведение спутника на орбиту при помощи ступени ракеты-носителя в качестве дополнительной нагрузки. На последней ступени или разгонном блоке предусматривается специальное пространство для размещения попутной нагрузки – наноспутника, массой от 1 до 3 кг. Такой способ выведение на орбиту является относительно дешевым, однако вывод наноспутника на орбиту полностью завит от запуска основного космического аппарата.

Наноспутники можно выводить на орбиту сразу десятками с помощью специальной ракеты-носителя (например, ракеты-носителя «Днепр»).

CubeSatможно запускать с Международной космической станции. Для этого на американском сегменте оборудована специальная роботизированная система. Система позволяет запускать пачками наноспутники, при этом она не требует выхода астронавтов в открытый космос. С российского же сегмента CubeSat запускаются поштучно и классическим способом. Запуск с МКС проще и дешевле ракет, для него не требуется адаптация и контейнер. В связи с этим большинство CubeSat запускаются со станции. Однако спутники, доставляемые на борту грузовых кораблей, могут пролежать до запуска достаточно долгое время, в результате чего бортовая батарея может разрядиться.

2 Анализ систем ориентации

Типы систем ориентации наноспутников представлены на рисунке 1.

Рис. 1. Типы систем ориентации наноспутников

К пассивной ориентации относятся гравитационная, аэродинамическая, магнитная, которые для собственной работы не требуют определенных усилий энергии, запасенной на борту наноспутника. Они различаются высочайшей экономичностью, впрочем области их применения ограничены. К активным системам, требующим для своей работы некой энергии или массы, запасаемой на борту наноспутника, относятся электромагнитные устройства, реактивные двигатели ориентации, двигатели - маховики. Преимуществом активных систем

ориентации считается их гибкость, вероятность обеспечить разворот наноспутника в подходящем направлении с требуемой угловой скоростью.

3 Разработки в области наноспутников

В 2003 году Стэнфордским университетом США был запущен наноспутник QuakeSat. Он был предназначен для исследования предвестников землетрясений и просуществовал в космическом пространстве около 6 месяцев.

Первый отечественный наноспутник, разработанный организацией РНИИКП - ТНС-0 (рис. 2), был запущен на орбиту в 2005 году с борта МКС.Он представлял собой цилиндр с радиоаппаратурой внутри, который питался от литиевой батареи и провел на орбите всего 2.5 месяца. Его задачей была проверка работы аварийного радиобуя системы «Коспас-Сарсат» в космических условиях. Управляли наноспутником и собирали телеметрические данные через систему «Глобалстар».

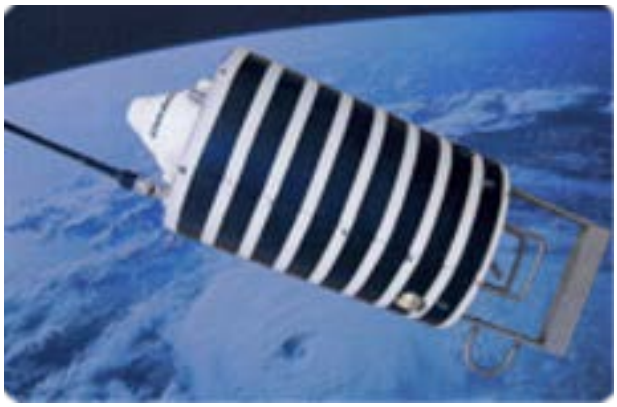


Рис. 2. Наноспутник ТНС-0

В ТНС-0 была реализована пассивная магнитная система ориентации, а вес наноспутника составил 4,5 килограмма.

Первый в России запуск студенческого наноспутника – SamSat-218, созданного в Самарском государственном аэрокосмическом университете, состоится весной 2016 года. SamSat-218 планируется запустить на орбиту с нового российского космодрома Восточный. Особенностью данного наноспутника является его изменяемая геометрия – после выхода на орбиту он приобретёт форму «тройного» кубика, изначально имея форму «двойного». Также предполагается, что управление SamSatбудет осуществляться с помощью мобильного устройства.

Два спутника канадского производства CanX-4 и CanX-5 в первый раз выполнили орбитальные маневры полностью в автоматическом режиме, без любого участия человека. Совершенные наноспутниками маневры, согласно информации от компании DSI, были первым в истории орбитальным маневром, когда один космический аппарат передавал второму команды и управлял его движениями. В данном случае спутник CanX-4 передал спутнику CanX-5 набор программных инструкций, выполнив которые, аппарат самостоятельно переместился на более высокую орбиту. Успешное выполнение данной операции было подтверждено наблюдениями, проведенными специалистами Центра управления полетом SFL в Торонто и Объединенного центра космических операций, расположенного на базе ВВС США Вандерберг в Калифорнии.

4 Перспективы развития

Ученые из Голландии предложили необычный вариант космического двигателя малой тяги. Тяга эта должна будет создаваться за счет испарения льда в космическом вакууме. Движение, создаваемое в подобном двигателе, будет обеспечиваться реактивной силой испаряющихся со льда молекул воды, минующих стадию жидкости.

Одним из направлений развития наноспутников является перспектива создания «роя» наноспутников, численность который велика. При этом они смогут функционировать в автономном режиме, без участия человека. Такая группа наноспутников сможет решать сложные задачи, например, по добыче ископаемых из недр астероида.

Компании NanoRacks и MadeInSpace объявили о совместной работе над проектом создания спутников на борту Международной космической станции. Осенью 2014 года на МКС был отправлен первый 3D-принтер с технологией печати в условиях низкой гравитации. Также компания недавно успешно протестировала 3D-принтер для печати в условиях открытого космоса.Благодаря подобному производству стоимость спутника станет значительно ниже, а спутник можно будет вывести на орбиту быстрее. Работа над проектом начнется в первом квартале 2016 года.

Наноспутниками CubeSat заинтересовался один из разработчиков протокола крипто валюты биткоин ДжеффГарзик. Совместно с компанией DeepSpaceIndustries он разрабатывает сеть из 24-х наноспутников, которые, по его задумке станут основой для межпланетного интернета. Джефф Гарзик не скрывает, что космический сегмент будет использоваться для резервирования биткоинов и повышения надежности распределенной сети.

Заключение

В настоящее время услуги, представляемые ракетно-космической техникой (Интернет-технологии, связь, навигация, метеорология, дистанционное зондирование Земли и акватории океанов, научные исследования), пользуются массовым спросом. Разработчики стремятся снизить затраты на разработку и эксплуатацию космической техники при одновременном увеличении качества и эффективности использования орбитальных группировок КА. Создаются новые легкие конструкционные материалы, микропроцессоры с высокой производительностью, миниатюрные фотокамеры, микромеханизмы, микросенсоры. Все это определяет малым космическим аппаратам как перспективное направление космической деятельности.

Литература

1. Храмов Д.А. Миниатюрные спутники стандарта «CUBESAT». № 3, т. 15. – 2009. – с. 20-31.
2. Малые космические аппараты информационного обеспечения/ Под редакцией В.Ф.Фатеева – М.: Радиотехника, 2010 – 320с.
3. Информационный портал «Волга Ньюс». Режим доступа: http://volga.news/article/344171.html (дата обращения 15.02.2016).
4. LiveJoutnal. Режим доступа: http://zelenyikot.livejournal.com/74776.html (дата обращения 15.02.2016).
5. Российские космические системы. Режим доступа: http://www.spacecorp.ru/directions/nano/prospects/(дата обращения 15.02.2016).
6. Время электроники. Режим доступа: http://www.russianelectronics.ru/(дата обращения 15.02.2016).

МАЛОГАБАРИТНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Кувакина А.Е.
Научный руководитель: Оганов В.И.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ3, Москва, Россия

MINIATURE TEMPERATURE MESUARMENT DEVICE

Kuvakina A.E.
Supervisor: Oganov V.I.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация
Работа посвящена вопросам проектирования миниатюрного устройства для измерения температуры в широком диапазоне с относительно высокой точностью. Особое внимание было уделено расчету шумовых параметров схемы, таких как тепловой, дробовый и фликкер-шум, которые оказывают большое влияние на погрешность измерений. Были разработаны электрическая функциональная схема, электрическая принципиальная схема, на основании которых было произведено моделирование устройства в САПР OrCAD. Результаты моделирования подтвердили теоретические расчеты.
Ключевые слова: термопара, шумы, измерение температуры.

Abstract
This work is devoted to creation of miniature temperature measurement device in wide range with quite high accuracy. Special attention is paid to noise parameters calculation such as thermal, shot and flicker noise, which have a huge influence on inaccuracy of measurements. Electrical functional scheme, circuit diagram were developed. Device modelling was made in OrCAD based on the developed schemes. Modeling results confirmed theoretical calculations.
Keywords: thermocouple, noises, temperature measurement.

Введение

Работа посвящена вопросам проектирования малогабаритного устройства для измерения температуры.

Актуальность работы определяется требованием создания миниатюрного устройства для быстрого и простого измерения температуры. Помимо этого, благодаря своей простоте, устройство является недорогим, при этом обладает приличными рабочими характеристиками. Ключевым элементом устройства является термопара.

Термопары широко применяют для измерения температуры различных объектов, а также в автоматизированных системах управления и контроля. Измерение температур с помощью термопар получило широкое распространение из-за надежной конструкции датчика, возможности работать в широком диапазоне температур и дешевизны. Широкому применению термопары обязаны в первую очередь своей простоте, удобству монтажа, возможности измерения локальной температуры. Термопары незаменимы при измерении высоких температур (вплоть до 2200°С) в агрессивных средах. Термопары могут обеспечивать высокую точность измерения температуры на уровне ±0,1°С [1].

Целью работы является разработка и расчет параметров устройства для измерения температуры. Помимо этого нужно уделить особое внимание влиянию шумов и погрешностей на результаты измерений.

Для достижения заявленных целей в работе предусматривается решение следующего комплекса задач:

− выбор элементной базы устройства;
− схемотехническое проектирование устройства для измерения температуры;
− проведение расчетов шумов и погрешностей;
− моделирование устройства для измерения температуры.

Результатом работы является опытный образец устройства для измерения температуры в виде законченного устройства.

1 Теоретические основы работы термопары

Томас Зеебек (Thomas Seebeck) открыл принцип работы термопары в 1822 году. Термопара — это простое устройство для измерения температуры, которое состоит из двух металлических проводников, «Металл 1» и «Металл 2», соединенных межу собой (рис. 1.1).

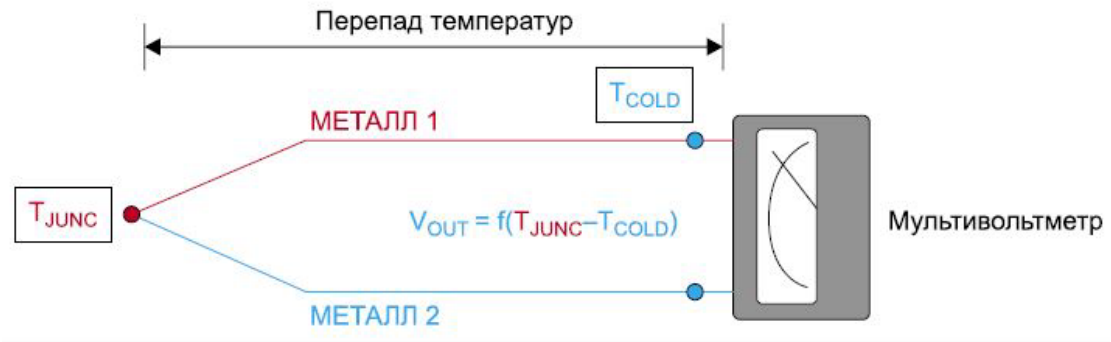


Рис. 1.1. Упрощенная схема термопары

Зеебек обнаружил, что разные металлы создают разные электрические потенциалы, зависящие от приложенного к ним перепада температуры. Если соединить одни концы проводников из разных металлов и расположить точку соединения в месте измерения температуры (TJUNC, или горячий спай), то между оставшимися концами, которые находятся при постоянной температуре (TCOLD, постоянная опорная температура), появится напряжение VOUT. Оно прямо пропорционально разности температур TJUNC и TCOLD. Таким образом, термопара — это устройство, генерирующее напряжение/заряд без внешнего источника возбуждения [1].

VOUT зависит от разницы температур (TJUNC - TCOLD) и типа металлов. Эта зависимость точно описана американским Национальным институтом стандартов и технологий (National Institute of Standards and Technology, NIST) в базе данных термопар ITS-90 для большинства используемых на практике сочетаний «Металл 1» и «Металл 2». Эта база данных позволяет рассчитать относительную температуру TJUNC исходя из значений VOUT. Однако так как термопара измеряет разность температур, то для того, чтобы определить действительную температуру горячего спая, должна быть известна абсолютная температура холодного спая. Все современные системы на основе термопар используют дополнительный датчик абсолютной температуры (платиновый терморезистор, кремниевый датчик и.т.д.), чтобы точно измерять температуру холодного спая и суммировать её с разностными показаниями термопары.

Формула, связывающая значения температур для упрощенной схемы термопары:

$$T_{abs} = T_{JUNC} + T_{COLD} \qquad (1),$$

где T_{abs} –абсолютная температура горячего спая;

T_{JUNC} –разность между температурой горячего спая и опорной температурой холодного спая;

T_{COLD} –абсолютная опорная температура холодного спая.

Эффект Зеебека состоит в том, что в замкнутой цепи, состоящей из разнородных проводников, возникает термо-ЭДС, если места контактов поддерживают при разных температурах. Цепь, которая состоит только из двух различных проводников, называется термоэлементом или термопарой.

Величина возникающей термо-ЭДС в первом приближении зависит только от материала проводников и температур горячего (T_1) и холодного (T_2) контактов.

В небольшом интервале температур термо-ЭДС можно считать пропорциональной разности температур:

$$E = \alpha_{12}(T_2 - T_1) \qquad (2),$$

где α_{12} — термоэлектрическая способность пары (или коэффициент термо-ЭДС).

В простейшем случае коэффициент термо-ЭДС определяется только материалами проводников, однако, строго говоря, он зависит и от температуры, и в некоторых случаях с изменением температуры меняет знак.

Более корректное выражение для термо-ЭДС:

$$\varepsilon = \int_{T_1}^{T_2} \alpha_{12}(T)dT \qquad (3).$$

Величина термо-ЭДС составляет милливольты при разности температур в 100°C и температуре холодного спая в 0°C (например, пара медь-константан даёт 4,25 мВ, платина-платинородий — 0,643 мВ, нихром-никель — 4,1 мВ).

Существует множество видов термопар, но некоторые пары из различных металлов работают лучше в большинстве промышленных или медицинских применений. Эти сочетания металлов и/или сплавов стандартизованы

NIST и Международной электротехнической комиссией, МЭК (International Electrotechnical Commission, IEC), и получили обозначения E, J, T, K, N, B, S, R и т. д.

Термопары типа J широко используются благодаря своему относительно высокому коэффициенту Зеебека.

Термопары типа K очень популярны в промышленных измерениях, так как они перекрывают широкий диапазон температур. У этих термопар высокий коэффициент Зеебека, низкая цена и хорошая устойчивость к окислению. Термопары типа E менее распространены, чем другие типы. Однако у них наиболее высокий коэффициент Зеебека. Они требуют меньшего разрешения от измерительной схемы, чем другие типы.

Термопары типа R и S являются наиболее точными. Термопары типа R и S состоят из платины и родия, сочетание которых позволяет получить наиболее стабильные и воспроизводимые измерения при очень больших температурах в окисляющей атмосфере. Они имеют низкий коэффициент Зеебека и относительно дороги.

2 Выбор элементной базы устройства для измерения температуры

Учитывая очень жесткие требования по точности измерений выберем R или S типы термопар, как единственные, способные дать стабильные и точные характеристики в заданном диапазоне температур, используя только заводские решения (в отличии от K типа, который требует применения дополнительных, не заводских мер по компенсации холодного спая и калибровке самой термопары).

Выберем термопару 5649-20CB (рис. 2.1) производства фирмы Fluke. Это термопара типа R. Дополнительная калибровка по реперным точкам может быть осуществлена на заводе и оговаривается на этапе заказа датчика.

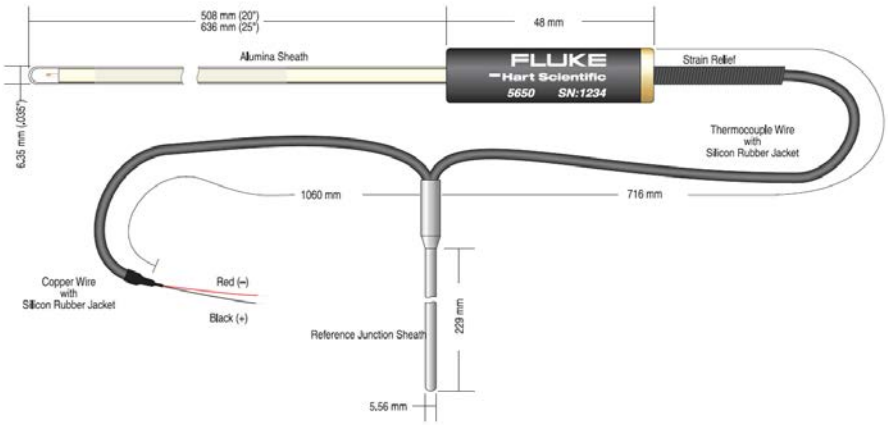


Рис. 2.1. Устройство термопары 5649-20СВ

Данная термопара типа R имеет длину 508 мм, эталонное место соединения с оголенными проводами (лужение, тефлоновая изоляция, низкое ЭМИ).

Компенсация температуры холодного спая в данной термопаре осуществляется за счет предусмотренного конструкцией пробника, который погружается в смесь льда и дистиллированной воды температурой 0С. Лед должен быть хорошо раздробленный и сделанный из дистиллированной воды. Пробник должен быть почти полностью погружен в ледяную семь и глубина погружения должна быть как минимум 200 мм, при этом недопустимо погружение в смесь места соединения проводов . При соблюдении данных условий погрешность измерения температуры холодного спая не будет превышать0.01С.

Для решения поставленной задачи необходим АЦП, имеющий широкий динамический диапазон и большое количество разрядов, свободных от шумов (не менее чем 20). Выберем 24-разрядный ∑Δ-АЦП MAX11200EEE+.

Выберем операционный усилитель ADA4528-1ARMZ-R7, так как он удовлетворяет требованиям, предъявляемым к рабочему диапазону температур (индустриальный диапазон по ТЗ), имеет малый дрейф напряжения смещения нуля и малые входные токи. При напряжении питания 2.5 В (его и выберем в качестве напряжения питания) напряжение смещение нуля равно 2.5 мкВ, дрейф напряжения смещения нуля равен 0.015 мкВ/^{0}С [6].

Выберем резисторы для нашей схемы. Для нашей задачи важна точность резисторов, поэтому выбирать их будем из рядов E192 (точность ±0,1 %). Под эти параметры подходят чип резисторы на основе тонких пленок, выпускаемые компанией Panasonic Electronic Components, с кодировками ERA-3AEB104V, ERA-6AEB103V, ERA-6AEB7873V с тепловым коэффициентом сопротивления $\pm 25\ м.д./\,^0C$, чип резисторы на основе тонких пленок, выпускаемые компанией Vishay Sfernice, с кодировкой PHT0805Y5003BGT200 с тепловым коэффициентом сопротивления $\pm 15\ м.д./\,^0C$.

Выберем конденсаторы для нашей схемы. Для нашей задачи важны такие характеристики конденсатора как: номинальное напряжение — значение напряжения, обозначенное на конденсаторе, при котором он может работать в заданных условиях в течение срока службы с сохранением параметров в допустимых пределах (не менее 9 В); температурный коэффициент емкости — относительное изменение ёмкости при изменении температуры окружающей среды на один градус Цельсия (Кельвина) (применяется для характеристики конденсаторов со значительной линейной зависимостью ёмкости от температуры); допуск (допустимое отклонение реальной емкости от номинальной).

Назначим конденсаторов в нашей схеме (фильтрация питания) выберем керамические конденсаторы фирмы Murata Electronics North America 0402-X5R-10В-0,1 мкФ±10%.

3 Разработка устройства для измерения температуры

Функциональная схема устройства представлена на рисунке 3.1. В дальнейшем последовательно подбираются схемотехнические решения.

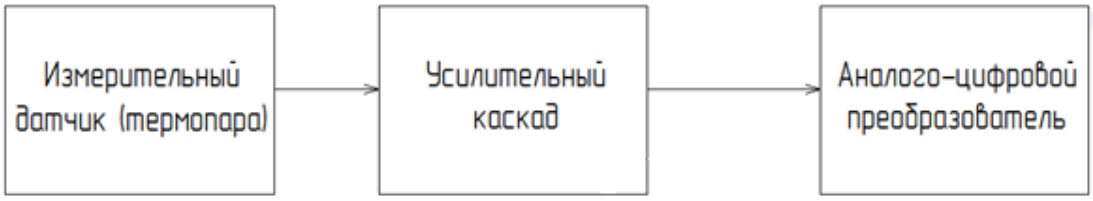


Рис. 3.1. Структурная схема устройства

Усилительный каскад будем строить на основе операционных усилителей, так как в этом случае возможно получить большое усиление сигнала, необходимое для оцифровки столь малого аналогового сигнала с помощью АЦП, при относительно небольших собственных шумовых помехах каскада. Так как у выбранной термопары дифференциальный выход используем дифференциальное включение операционного усилителя.

Дифференциальный усилитель (рис. 3.2) представляет собой комбинацию инвертирующей и неинвертирующей схем.

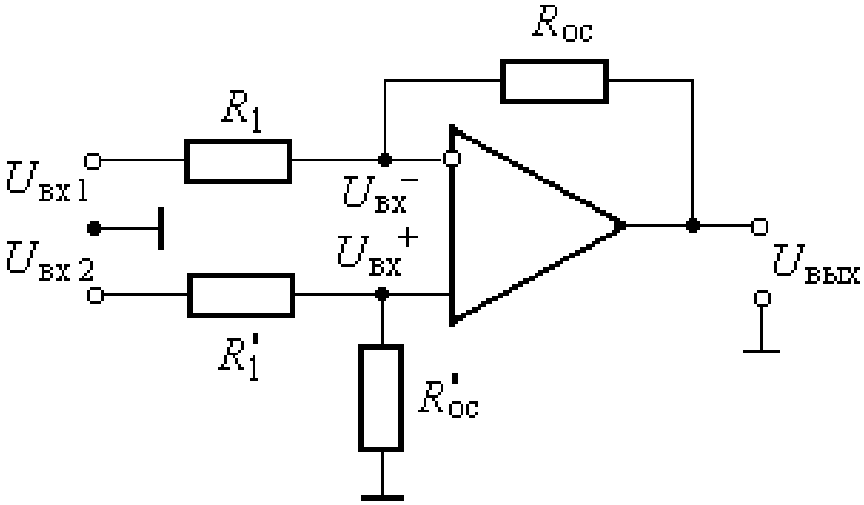


Рис. 3.2. Дифференциальный усилитель

Составим систему уравнений:

$$\frac{U_{вх1} - U^-_{вх}}{R_1} = \frac{U^-_{вх} - U_{вых}}{R_{ос}} \qquad (4),$$

$$U_{вх}^+ = U_{вх2}\frac{R'_{ос}}{R'_1 + R'_{ос}} \qquad (5),$$

$$U_{вх}^+ = U^-_{вх} \qquad (6),$$

и, решая ее относительно выходного напряжения, получим:

$$U_{вых} = \frac{R'_{ос}(\mathrm{R}_1 + R_{ос})}{\mathrm{R}_1(R'_1 + R'_{ос})}U_{вх2} - \frac{R_{ос}}{\mathrm{R}_1}U_{вх1} \qquad (7).$$

Обычно в такой схеме:

$$\mathrm{R}_1 = R_1' \ , \ \mathrm{R}_{oc} = R_{oc}' \qquad (8),$$

поэтому можно записать:

$$U_{вых} = \frac{R_{oc}}{\mathrm{R}_1}(U_{вх2} - U_{вх1}) \qquad (9).$$

В реальных схемах сопротивление R1 выбирается не менее 10 кОм, но и желательно не более 100 кОм, чтобы при заданном коэффициенте усиления не ставить Roc слишком большого номинала. Исходя из этого получить требуемый коэффициент усиления (а это как минимум 350-400 раз, исходя из величин выходного напряжения термопары и минимально необходимого опорного напряжения на АЦП, такого, чтобы собственные шумы АЦП при этом не вносили сколь либо значимой погрешности в конечный результат) необходимо применить ещё один каскад усиления, построенный на неинвертирующей схеме включения операционного усилителя.

При неинвертирующем включении входной сигнал подается на неинвертирующий вход ОУ, а на инвертирующий вход через делитель на резисторах R1 и R2 поступает сигнал с выхода усилителя (рис.3.3).

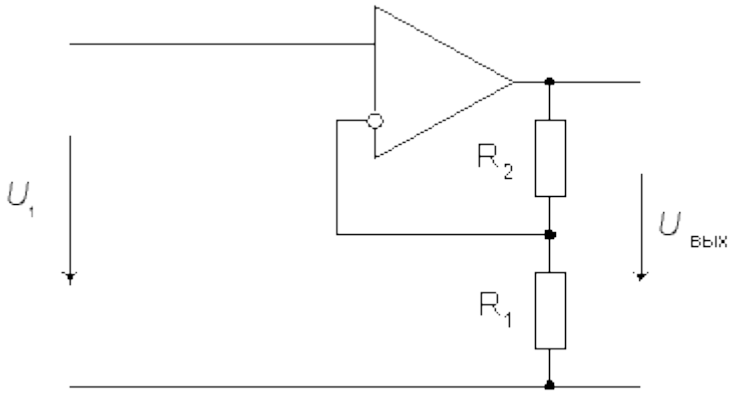


Рис. 3.3. Неинвертирующее включение ОУ

Как видно, коэффициент усиления по напряжению не может быть меньше единицы. В предельном случае, если выход ОУ накоротко соединен с инвертирующим входом, этот коэффициент равен единице [4,5].

Минимально необходимое усиление для того, чтобы динамический диапазон сигнала с термопары уложить в 0.6 В. Это напряжение мы задаем как опорное на АЦП (шаг квантования при этом не более чем 0.001 мВ, эффективное количество битов АЦП не менее чем 20) равно примерно 400 (398.5 раза с учётом рядов номиналов резисторов). Коэффициент усиления для дифференциального усилителя сделаем равным 5 (исходя из максимально возможного входного сопротивления R1 схемы усиления, которое выберем равным 100 кОм, соответственно Roc=500 кОм). Коэффициент усиления схемы неинвертирующего включения операционного усилителя (возьмём такой же ОУ-ADA4528-1ARMZ-R7) выберем равным 79.7 раза (R2 выберем равным 787 кОм, R1 выберем равным 10 кОм).

Система питания для данной схемы должна строиться на основе прецизионных источников опорного напряжения, так как в данном случае крайне важными факторами является наличие как можно более слабых шумов на выходе источника и точность опорного напряжения на АЦП. 3.3 В и 2.5 В получаются из входных 5 В с помощью прецизионных LDO LT1461AIS8-3.3#PBF и LT1461AIS8-2.5#PBF с уровнем шума не более 10 мкв (СКО), 0.6 В с помощью шунт-регулятора CAT102TDI-GT3 из входных 5 В с точностью не хуже ±8 мВ [10,11].

4 Шумовой расчет устройства для измерения температуры

Основные виды шума в электронных схемах: тепловой, дробовый и фликкер-шум. Рассмотрим их подробнее [8].

Тепловой шум – такой шум генерирует на своих выводах любой резистор. Тепловой шум имеет нормальное распределение и равномерный частотный спектр, т. е. он является гауссовым «белым» шумом. Среднеквадратичное напряжение теплового шума в незамкнутой цепи, порожденное сопротивлением R, находящимся при температуре T, выражается формулой: $E_N = \sqrt{4kTR\Delta f}$

Спектральная плотность шума для резистора номиналом 100 кОм при температуре 300К будет равна приблизительно 40 нВ/$\sqrt{Гц}$.

Спектральная плотность шума для резистора номиналом 500 кОм при температуре 300К будет равна приблизительно 90.1 нВ/$\sqrt{Гц}$.

Спектральная плотность шума для резистора номиналом 10 кОм при температуре 300К будет равна приблизительно 12.8 нВ/$\sqrt{Гц}$.

Спектральная плотность шума для резистора номиналом 787 кОм при температуре 300К будет равна приблизительно 114 нВ/$\sqrt{Гц}$.

Шум входного тока нашего операционного усилителя ADA4528-1ARMZ-R7 в зависимости от частоты представлен на рисунке 4.1:

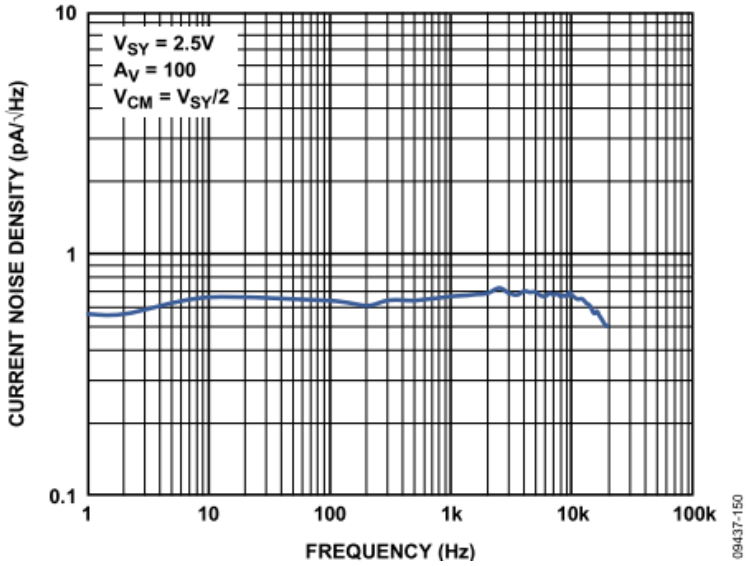


Рис. 4.1. Зависимость шума входного тока от частоты

Шум входного напряжения нашего операционного усилителя в зависимости от частоты представлен на рисунке 4.2:

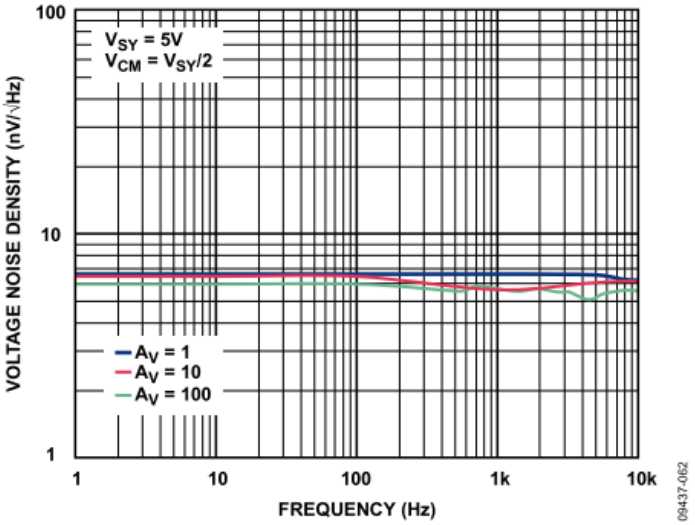


Рис. 4.2. Зависимость шума входного напряжения от частоты

Для ADA4528-1ARMZ-R7 (здесь корпус 8MSOP) - входное напряжение смещения $0.3 \div 4 мкВ$, зависимость его от температуры $0.002 \div 0.015\ мкВ / {}^0C$.

Дробовый шум – электрический ток представляет собой движение дискретных зарядов. Число зарядов, проходящих через некоторое сечение проводящей среды в единицу времени (т. е. ток), колеблется (флуктуирует) вокруг некоторого среднего значения и носит статистический характер.

Действующее значение флуктуирующего тока определяется формулой:

$$I_N = \sqrt{2eI_\infty \Delta f}\ .$$

Например, установившийся ток в 1 мА фактически имеет флуктуации со среднеквадратичным значением 1.78 нА в полосе шириной 10 кГц. Относительные флуктуации больше для меньших токов: установившийся ток в 1 мкА имеет флуктуации (среднеквадратичные) в той же полосе частот 0.006% (56.5 пА), т.е. – 85 дБ.

Фликкер-шум (шум 1/f) – этот шум, называемый также мерцающим, имеет частотный спектр, примерно описываемый зависимостью 1/f (постоянная мощность на декаду частоты). Иногда шум с таким спектром называют розовым шумом (в отличии от белого шума с равномерным спектром). В ОУ этот шум вызывается флюктуирующим захватом зарядов ловушками, образуемыми неоднородностями структуры полупроводника. Наиболее важное значение имеет фликкер-шум в области низких частот, где его амплитудный спектр может значительно превосходить спектр шумов иной природы. Вот типичные значения избыточного шума различных типов резисторов, выраженные в микровольтах на вольт приложенного к резистору напряжения (приводится среднеквадратичное значение, измеренное на одной декаде частоты):

Углеродно – композитные - от 0.10 до 3.0 мкВ;

Углеродно – пленочные - от 0.05 до 0.3 мкВ (используются в нашем проекте);

Металлопленочные - от 0.02 до 0.2 мкВ;

Проволочные - от 0.01 до 0.2 мкВ.

Спектральная плотность входного шума операционного усилителя ADA4528-1ARMZ-R7 равна 5.6 нВ/$\sqrt{Гц}$, 0.7 пА/$\sqrt{Гц}$. Операция сложения шумов носит квадратурный характер. Выходной шум от входного напряжения шума ОУ получают путем умножения напряжения шума на шумовое усиление. В схеме коэффициент усиления усилителя равен 398.5, полоса пропускания схемы- 10000 Гц

Если прибавить к этому значению шум резисторов, то получим:

$$e_{\Sigma} = \sqrt{\begin{matrix} 2 \bullet (40 нВ / \sqrt{Гц} / \sqrt{10000})^2 + 2 \bullet (90.1 нВ / \sqrt{Гц} / \sqrt{10000})^2 \\ +(12.8 нВ / \sqrt{Гц} / \sqrt{10000})^2 + (114 нВ / \sqrt{Гц} / \sqrt{10000})^2 \end{matrix}} + 4.5\ нВ \approx 6.3\ нВ$$

5 Расчет погрешностей устройства для измерения температуры

Погрешность ОУ, вносимая конечным значением дифференциального коэффициента усиления: пусть на вход неинвертирующего усилителя с коэффициентом передачи цепи обратной связи β подано постоянное напряжение Vin. Выходное напряжение схемы при $K_v = \infty$ определится соотношением $Vout = Vin / \beta$. При конечном Kv выходное напряжение будет отличаться на величину $Vout : V_{out} + \Delta V_{out} = V_{in} K_v / (1 + \beta K_v)$. Получим $\Delta Vout = \dfrac{-Vin / \beta}{(1 + \beta Kv)}$. Отклонение, приведенное ко входу, с точностью до величин второго порядка малости: $\Delta Vin = \Delta Vout \bullet \beta$. Окончательная относительная погрешность: $\dfrac{\Delta Vin}{Vin} \approx \dfrac{1}{\beta Kv} \approx 8.3 \bullet 10^{-6}$ для 2 усилительного каскада и $\dfrac{\Delta Vin}{Vin} \approx \dfrac{1}{\beta Kv} \approx 6 \bullet 10^{-7}$ для 1 усилительного каскада.

Погрешность, обусловленная наличием напряжения смещения для 1 усилительного каскада определяется по формуле и имеет одинаковую величину для всех входных напряжений:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{\Delta U_{см} \bullet \Delta T \bullet K_{усил} + U_{см} \bullet K_{усил}}{U} \approx 3.7 \bullet 10^{-4}$$

Погрешность, обусловленная наличием напряжения смещения для 2 усилительного каскада определяется по формуле и имеет одинаковую величину для всех входных напряжений:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{\Delta U_{см} \bullet \Delta T \bullet K_{усил} + U_{см} \bullet K_{усил}}{U} \approx 2.2 \bullet 10^{-3}$$

Случайная ошибка АЦП будет состоять из интегральной нелинейности, а также из ошибки квантования.

Ошибка квантования равна $3.5 \bullet 10^{-5}\ мВ / 600\ мВ = 5.8 \bullet 10^{-8}$.

Интегральная нелинейность $10 \bullet 10^{-6} \bullet 600\ мВ / 600\ мВ = 10^{-5}$.

Систематическую ошибку АЦП составляют ошибка смещения нуля и её температурный дрифт.

ошибка смещения нуля $10 \bullet 10^{-6} \bullet 600\ мВ / 600\ мВ = 10^{-5}$;

температурный дрифт ошибки смещения нуля 6.25 мкВ для диапазона (-40;+85)˚С; ошибка равна: $6.25\ мкВ / 600000\ мкВ = 10^{-5}$.

Оценим погрешность, вносимую источником опорного напряжения. Ослабление флуктуаций напряжения источника питания АЦП MAX11200EEE+ согласно документации – 123 дБ (приблизительно 1412500 раз). Гарантированное отклонение выходного опорного напряжения CAT102TDI-GT3 (0.6В) от номинала лежит в пределах ±8 мВ, уровень шумов 9.6 м.д., т.е. приблизительно 5.76 мкВ.

Минимально необходимое число бит свободных от шумов, при условии линейности выходного сигнала термопары и с учетом требуемой точности равно 9 (необходимо поместить не менее 400 отсчётов).

Суммарная погрешность будет равна:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\begin{matrix}(8.3\bullet 10^{-6})^2 + (6\bullet 10^{-7})^2 + (3.7\bullet 10^{-4})^2 + (2.2\bullet 10^{-3})^2 + \\ +(5.8\bullet 10^{-8})^2 + 3\bullet (10^{-5})^2 + (9.6\bullet 10^{-6})^2 +\end{matrix}} \approx 2.23\bullet 10^{-3}$$

Учитывая, что требуемая точность 0.5^0C в диапазоне от 0^0C до 200^0C, это 0.25%, полученная суммарная погрешность приблизительно 0.223%, что означает, что разработанная схема удовлетворяет требованию по точности измерения температуры в заданном диапазоне.

6 Моделирование устройства для измерения температуры

Для моделирования схемы используется программа OrCAD 9.2.3. В этой части работы проводится исследование выходных характеристик схемы в зависимости от поданного на неё напряжения (имитируется выходное напряжение термопары). Результаты моделирования представлены на рисунках 6.1-6.6 [12].

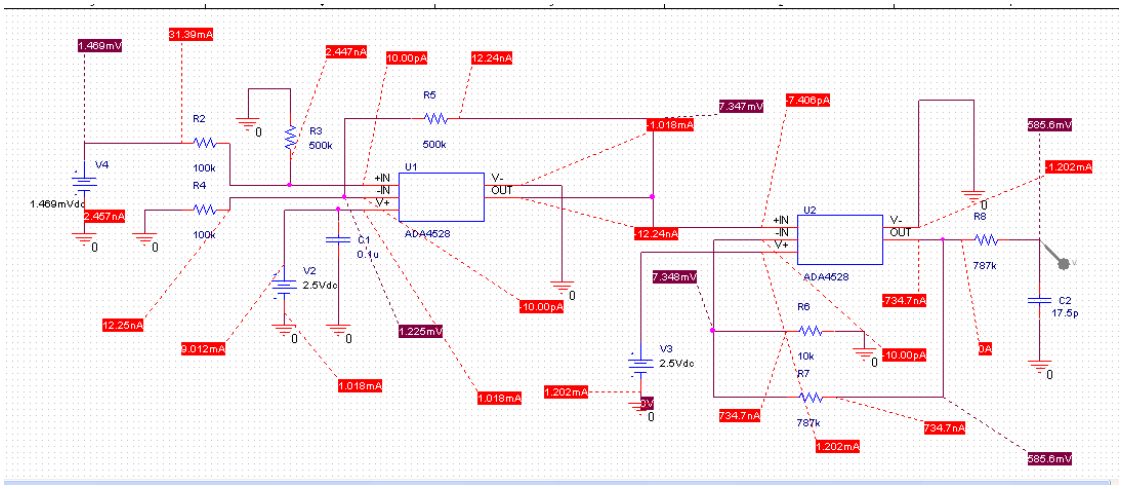


Рис. 6.1. Результаты моделирования при входном напряжении, соответствующем 200°C

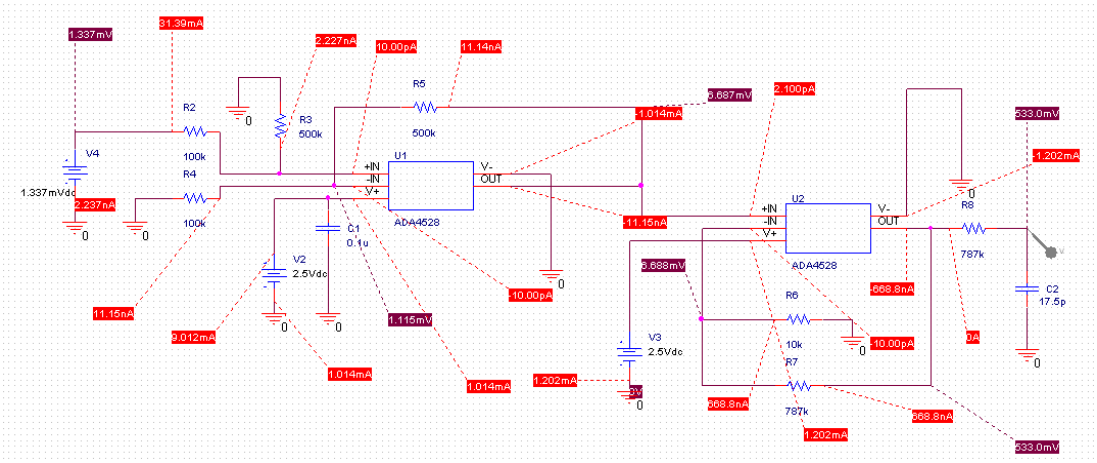


Рис. 6.2. Результаты моделирования при входном напряжении, соответствующем 185°C

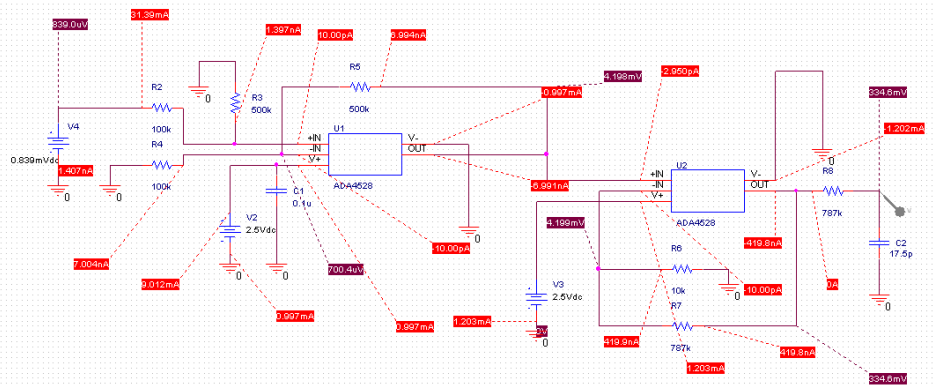


Рис. 6.3. Результаты моделирования при входном напряжении, соответствующем 125°C

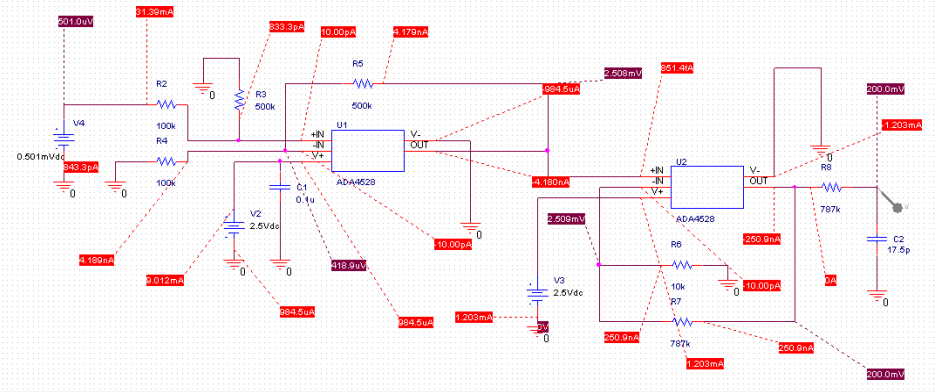


Рис. 6.4. Результаты моделирования при входном напряжении, соответствующем 80°C

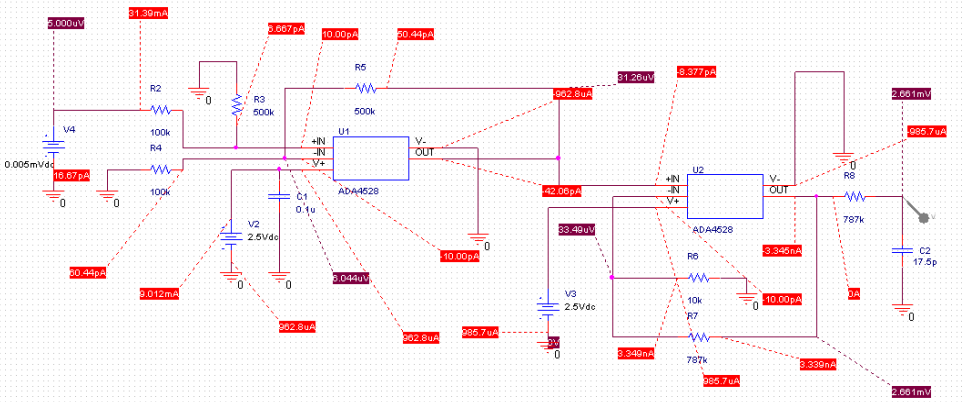


Рис. 6.5. Результаты моделирования при входном напряжении, соответствующем 1°C

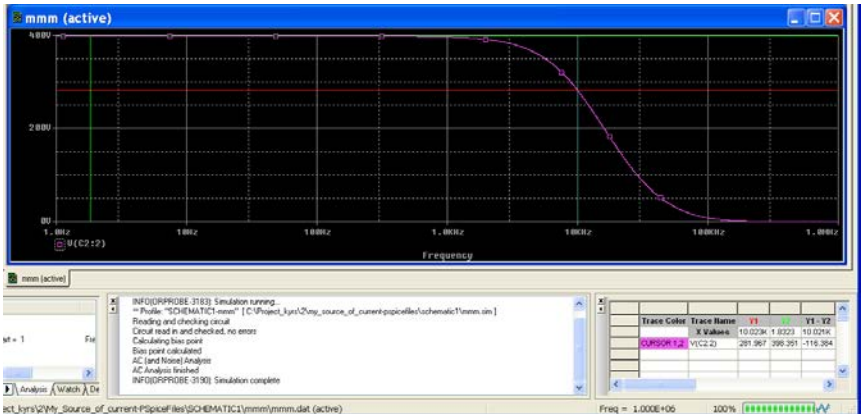


Рис. 6.6 – АЧХ схемы измерителя температуры

Результаты моделирования представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Зависимость Uвых от Uвх

№ эксперимента	Uвх, мВ	Uвых, мВ
1	0.005	2.661
2	0.501	200
3	0.839	334.6
4	1.337	533
5	1.469	585.6

Полученные во время моделирования значения напряжений говорят о правильности расчетов схемотехнических параметров устройства.

Заключение

В ходе проведенной работы были разработаны функциональная и электрическая принципиальная схемы устройства для измерения температуры. Проведено моделирование схемы, результаты которого показывают, что выбранные схемотехнические решения удовлетворяют предъявленным требованиям, в частности: точность измерения температуры, диапазон измерения температуры, функционирование схемы от заданного напряжения питания. Работоспособность в заданном температурном диапазоне подтверждается расчетами (погрешности и шумов) и гарантиями производителей компонентов (официальная техническая документация).

Литература

1. Джозеф Штаргот, Соухейл Мирза. Современные термопары и ∑Δ АЦП высокого разрешения обеспечивают прецизионное измерение температуры. Пер. с англ. Дмитрий Йоффе // Журнал Компоненты и технологии, издательство Файнстрит №1/2012 с. 52-56 [Joseph Shtargot, Sohail Mirza. Modern thermocouples and a high-resolution delta-sigma ADC enable high-precision temperature measurement. Maxim Integrated. Aug 17, 2011].
2. Единая система конструкторской документации. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению. ГОСТ 2.701-2008.
3. 5649 Type R and 5650 Type S thermocouple standards user’s guide. Fluke Corporation, rev. 840701.
4. П. Хоровиц, У. Хилл. Искусство схемотехники: Пер. с англ. – М: Мир, 1998. – 704с.
5. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем.-М.: Мир, 1982.-512 с., ил.
6. Datasheet ADA4528. Analog Devices; Rev. D.
7. Datasheet max 11200. Maxim Integrated 19-5332; Rev 2; 12/14.
8. Op Amp Noise Theory and Applications SLOA082. Texas Instruments.
9. Чарльз Китчин. Предупреждение частых ошибок при разработке схем с усилителями. Компоненты и технологии № 11 2007.
10. Datasheet LT1461. Linear Technology Corporation 1999.
11. Datasheet CAT102.On Semiconductor. Doc. No. MD-4007 Rev.P 2009.
12. Bruce Carter. Using Texas Instruments Spice Models in PSpice. Application Report. SLOA070-September 2001. Texas Instruments.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА

Спасёнов А.Ю., Логунова А.О.
Научный руководитель: к.т.н., доцент, Волосатова Т.М.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра РК-6, Москва, Россия

AUTOMATED ECG ANALYSIS AND INTERPRETATION SYSTEM

Spasenov A. U., Logunova A. O.
Supervisor: Ph.D., associate professor Volosatova T.M.
Department RK6 BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье рассматриваются алгоритмы выделения и классификации информативных признаков электрокардиосигнала. Исследован алгоритм *Пана–Томпкинса*, выполняющий предобработку и определение –пика кардиосигнала. В качестве данных, подаваемых на вход классификатора, выступают параметры вариабельности сердечного ритма, найденные по *Баевскому Р.М.*, а так же аппроксимирующие и детализирующие коэффициенты многоуровневого одномерного дискретного вейвлет - преобразования. Для классификации найденных информативных признаков используется метод *SVM*. Представлена программная реализация вышеописанных алгоритмов, по результатам работы которой сделано заключение о ее работоспособности.

Abstract
Selection and classification algorithms of electrocardiosignal features are examined in the article. The *Pan – Tompkins* method for preprocessing cardiosignal and locating the R – peaks is investigated. Heart rate variability parameters of *Baevsky P.M.*, approximation and detail coefficients of discrete wavelet transform were used for the analysis. The *SVM* method was applied for classification. The program realization and it's efficiency is represented.

Введение

Целью работы является разработка приложения для выделения информативных признаков электрокардиосигнала, с целью последующего их использования для классификации болезней по ЭКГ. В основе предложенного метода заложено три этапа – предобработка сигнала с помощью алгоритма *Пана–Томпкинса*; формирование входных данных для классификатора на основе параметров вариабельности сердечного ритма по *Баевскому Р.М.*, а так же аппроксимирующих и детализирующих коэффициентов дискретного вейвлет-преобразования; классификация с помощью метода *SVM* и интерпретация полученных данных.

В рамках работы выполнено исследование методов обработки и классификации электрокардиосигналов. Разработано программное средство с графическим интерфейсом, позволяющее определять информативные признаки на ЭКГ, а также выполнять классификацию электрокардиосигналов, относящихся к разным болезням. Результаты тестирования разработанного ПО представлены в данной статье.

1 Постановка задачи

Диагностика сердечно-сосудистой системы человека принадлежит к числу важнейших задач кардиологии. На данный момент электрокардиограмма (ЭКГ) является самым распространенным методом диагностики работы сердечно-сосудистой системы человека.

Автоматический анализ электрокардиосигнала представляет собой сложную проблему. Существующие компьютерные системы диагностики не обеспечивают требуемую достоверность результатов. Это связано с тем, что сигнал является недетерминированным, нестационарным и подвержен многочисленным видам помех [1].

Задача достоверного определения информативных признаков ЭКГ, отражающих отдельные стадии работы сердца, является наиболее актуальной в наше время. Решение данной проблемы позволит повысить точность автоматизированных систем анализа ЭКГ.

В данной работе выполнено подробное описание зубцов, интервалов и сегментов, содержащихся на ЭКГ. Рассмотрены морфологические и статистические признаки, играющие важную роль в детектировании сердечных заболеваний. Изучены алгоритмы обработки и выделения информативных признаков электрокардиосигнала. Описана методика классификации электрокардиосигналов по полученным данным.

В рамках исследования была создана программная реализация рассмотренных алгоритмов.

2 Анализ электрокардиограмм

Слово “электрокардиограмма” с латинского языка дословно переводится следующим образом [7]:

– электро- электрические потенциалы;

– кардио- сердце;

– грамма- запись.

Следовательно, электрокардиограмма – это запись электрических потенциалов (электроимпульсов) сердца. Они вырабатываются в месте слияния полых вен – синусовом узле и носят название синусовых импульсов (рис. 1).

У здорового человека синусовый узел вырабатывает 60 – 90 электрических импульсов в минуту, равномерно посылая их по проводящей системе сердца. Следуя по ней, эти импульсы охватывают возбуждением прилегающие к проводящим путям отделы миокарда и регистрируются графически на ленте как кривая линия ЭКГ. Прохождение импульса по проводящей системе сердца графически записывается по вертикали в виде пиков (зубцов электрокардиограммы P, Q, R, S и T) – подъемов и спадов кривой линии. Помимо регистрации зубцов, на ЭКГ по горизонтали записывается время, в течение которого импульс проходит по определенным отделам сердца [7].

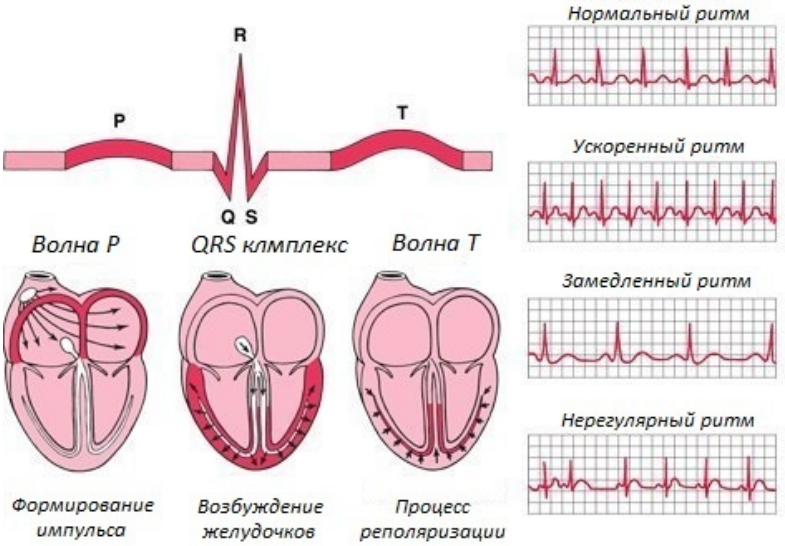


Рис. 1. Лента ЭКГ: формирование зубцов и интервалов

Процесс формирования электрокардиограммы можно описать так [7]:

– формирование импульса возбуждения в синусовом узле;

– поочередное возбуждение предсердий (сначала правого, потом левого), посредством продвижения синусового импульса по проводящий системе (зубец P);

– следуя по атриовентрикулярному соединению, синусовый импульс претерпевает физиологическую задержку, возбуждения прилежащих слоев не производит (интервал P–Q);

– проходя по проводящей системе желудочков, синусовый импульс возбуждает межжелудочковую перегородку (зубец Q), верхушку сердца (зубец R), основание сердца (зубец S) и тем самым оба желудочка;

– вслед за процессами возбуждения в миокарде начинаются процессы реполяризации (восстановления исходного состояния, интервал S – T).

Высоту зубцов измеряют в милливольтах, продолжительность интервалов в секундах.

3 Алгоритм обработки электрокардиосигнала

Алгоритм обработки электрокардиосигнала представляет собой последовательность шагов [2]:

1. Модуль предобработки

Главной задачей данного блока является помехоподавление, то есть удаление помех разного вида, таких как дрейф изолинии, артефакты движения, шумы, создаваемые оборудованием и т.д.

2. Модуль выделения информативных признаков

Существует множество алгоритмов извлечения информативных признаков из электрокардиосигнала, которые можно объединить в три основные группы:

– нейронные сети;

– волновое преобразование;

– частотно-временные алгоритмы.

3. Модуль редукции информативных признаков

Данный блок является необязательным и используется для сокращения количества выделенных информативных признаков, с целью увеличения скорости работы классифицирующего алгоритма.

4. Модуль классификации электрокардиосигналов

Классификация форм кардиоциклов ЭКГ является важной задачей, благодаря которой можно получить однозначный ответ, какой болезни соответствует данный электрокардиосигнал.

На рисунке 2 представлена блок-схема алгоритма обработки электрокардиосигнала.

Пан и Томпкинс предложили алгоритм, основанный на анализе наклона, амплитуды и ширины QRS – комплексов. Этот алгоритм состоит из следующей последовательности фильтров и методов [6]:

– фильтр низких частот;

– фильтр верхних частот;

– оператор производной;

– процедура интегрирования;

– адаптивная пороговая процедура;

– процедура поиска;

В данном методе фильтры применяются для удаления дрейфа изолинии и шумов, при этом, фильтр верхних частот реализован как всепропускающий фильтр минус фильтр низких частот.

Рис. 2. Блок-схема алгоритма обработки электрокардиосигнала

4 Предобработка и выделение R – пика электрокардиосигнала при помощи алгоритма *Пана – Томпкинса*

Процедура взятия производной подавляет компоненты зубцов P и T и усиливает высокочастотные компоненты в сигнале, связанные с QRS – комплексом.

Сглаживание выходного сигнала, полученного на предыдущих шагах, осуществляется за счет интегрирующего фильтра типа скользящего окна, ширина которого выбирается исходя из следующих соображений [6]:

– слишком большая ширина приведет к тому, что выходные сигналы, связанные с QRS – комплексом и T – зубцом будут сливаться;

– слишком маленькая ширина приведет к нескольким пикам для единственного QRS – комплекса.

5 Определение параметров вариабельности сердечного ритма по *Баевскому Р.М.*

Анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР) представляет собой метод исследования статистических и частотных свойств сигнала, образуемого последовательностью интервалов времени между смежными сокращениями сердца.

Свое активное развитие он получил благодаря успехам в космической медицине на рубеже 60-х годов. Со стороны отечественных ученых наибольший вклад в формирование

данного направления внес *Баевский Р.М.* Его исследования послужили фундаментом для формирования международных стандартов по анализу ВСР.

Установлено, что анализ ВСР позволяет получить количественные индикаторы активности различных отделов вегетативной нервной системы человека, что оказывается полезным для решения многих диагностических задач [5].

В общем случае последовательность шагов при проведении данного анализа выглядит следующим образом:

– измерение RR – интервалов времени между последовательными сокращениями сердца;

– исключение участков анализа, соответствующих нарушениям сердечного ритма или помехам, вызвавшим ошибки в определении RR – интервалов;

– получение равномерно дискретизованного сигнала ЭКГ с помощью гладкой интерполяции (частота дискретизации обычно составляет 4 Гц);

– определение основных временных и спектральных показателей сигнала.

Спектральные показатели ВСР рассчитываются с использованием методов, основанных на дискретном преобразовании Фурье.

Нахождение основных параметров представлено в описании программной реализации.

6 Дискретное вейвлет-преобразование

Вейвлеты (*wavelets*) – это обобщенное название временных функций, имеющих вид “короткой” волны той или иной формы, локализованных по оси независимой переменной (t или x) и способных к сдвигу по ней и масштабированию (сжатию/ растяжению).

Вейвлет-преобразование одномерного сигнала состоит в его разложении по базису, основой которого является некоторая функция (материнский вейвлет) с определенными свойствами. Базис получают путем смещения и растяжения (сжатия) этой функции (рис. 3).

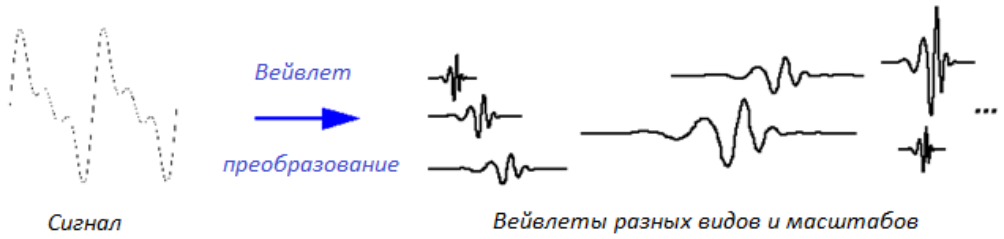


Рис. 3. Разложение сигнала по базису

Для того чтобы быть вейвлетом функция должна обладать свойствами [8]:

– локализация

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Psi(t)\, dt = 0,$$

где $\Psi(t)$ – вейвлет – функция;

– ограниченность (конечная энергия)

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\Psi(t)|^2 dt < \infty.$$

Главной идеей дискретного вейвлет-преобразования (ДВП) является разбивка сигнала на две составляющие – грубую (аппроксимирующую) и уточненную (детализирующую), с последующим их дроблением с целью изменения уровня декомпозиции сигнала. При этом за нулевой уровень декомпозиции принимается сам сигнал,

а последующие уровни образуют ниспадающее вейвлет-дерево того или иного вида. Точность представления сигнала по мере перехода на более низкие уровни снижается, но зато появляется возможность вейвлет-фильтрации сигналов, удаления шумов и эффективной компрессии сигналов (рис. 6) [3].

В основе ДВП лежит использование двух непрерывных и интегрируемых по всей оси t (или x) функций [8]:

– вейвлет – функции $\Psi(t)$ с нулевым значением интеграла $\int_{-\infty}^{\infty} \Psi(t)\, dt = 0$, определяющей детали сигнала и порождающей детализирующие коэффициенты

$$d_i = \int f(t)\Psi_i(t)dt;$$

– масштабирующей функции $\varphi(t)$ с единичным значением интеграла $\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t)\, dt = 1$, определяющей грубое приближение сигнала и порождающей коэффициенты аппроксимации

$$a_i = \int f(t)\varphi_i(t)\, dt.$$

Функции $\varphi(t)$ присущи далеко не всем вейвлетам, а только тем, которые относятся к ортогональным, т.е. таким, у которых интеграл от произведения любых двух функций равен нулю. Свойство ортогональности заметно облегчает анализ, дает возможность быстрой реконструкции сигналов.

7 SVM, как метод классификации электрокардиосигналов

Машинное обучение является подразделом весьма обширной области науки, изучающей искусственный интеллект. Алгоритмы, относящиеся к данному направлению, используются при решении задач, для которых зачастую сложно или невозможно придумать явный алгоритм решения.

Системы, разработанные на основе этих алгоритмов, обладают высокой точностью классификации. Рассмотрим задачу классификации для объектов двух классов.

Пусть заданы:

– множество X обучающих объектов, представленных векторами признаков:

$$X = \{X_1, X_2, \dots, X_N\}, X \subset R^d;$$

– множество Y ответов для обучающих объектов:

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_N\},\ y_i \in \{-1, +1\},\ i = 1 \dots N.$$

Решение задачи классификации сводится к построению такой функции f (классификатора), которая оптимальным образом разделяет точки из обучающей выборки разных классов, то есть каждому вектору $X_i, i = 1 \dots N$ сопоставляет правильный ответ y_i.

В методе *SVM* в качестве функции f выбрана гиперплоскость, расстояния до которой ближайших точек-векторов, которые носят название *опорных*, обоих классов равны (рис. 4). При этом для всех объектов одного класса должно выполняться неравенство $f(X_i) > 0$, а для всех объектов другого класса – неравенство $f(X_i) < 0$.

Уравнение разделяющей гиперплоскости имеет следующий вид:

$$w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_dx_d + w_0 = 0,$$

где d – размерность пространства признаков, $W = (w_1, w_2, \dots, w_d)$ – направляющий вектор, w_0 – скалярный порог (свободный член).

Или в векторной форме:

$$(W, X) + w_0 = 0.$$

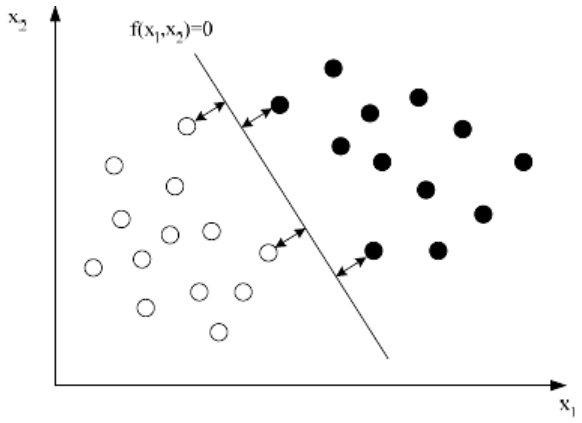


Рис. 4. Метод *SVM* для двумерного пространства

В методе опорных векторов выделяют два этапа: этап обучения и этап распознавания. На первом этапе из множества обучающих примеров отбираются опорные векторы, на основе которых строится разделяющая плоскость. Этап распознавания заключается в том, что на вход полученного классификатора подается пример X, о классовой принадлежности которого ничего не известно. Классификатор должен выдать ответ, к какому классу относится вектор X [4].

8 Программная реализация

Из множества баз дынных, представленных в открытом доступе в сети интернет, предпочтение было отдано базе данных *PhysioNet*. В ней содержатся физиологические сигналы различной природы и предоставляется возможность свободного скачивания, как единичной записи, так и целого архива данных.

Входными данными для решения задачи классификации в данной работе послужили частотные и временные параметры вариабельности сердечного ритма, наборы среднего квадратичного отклонения детализирующих и аппроксимирующих коэффициентов, полученных в результате дискретного вейвлет разложения. Найденные параметры характеризуют 2 класса электрокардиограмм: со здоровым синусовым ритмом и с аритмией. После окончания этапа обучения на вход SVM был подан электрокардиосигнал, о классовой принадлежности которого ничего не было известно. Результатом классификации стало отнесение данного сигнала к классу электрокардиосигналов со здоровым синусным ритмом, что является доказательством правильности работы системы.

Программа реализована в среде MatLab. На рис. 5, рис. 6 и рис. 7 представлен графический интерфейс системы, позволяющей пользователю осуществлять выделение и классификацию информативных признаков электрокардиосигнала. Для проведения анализа необходимо лишь выбрать интересующую оцифрованную кардиограмму.

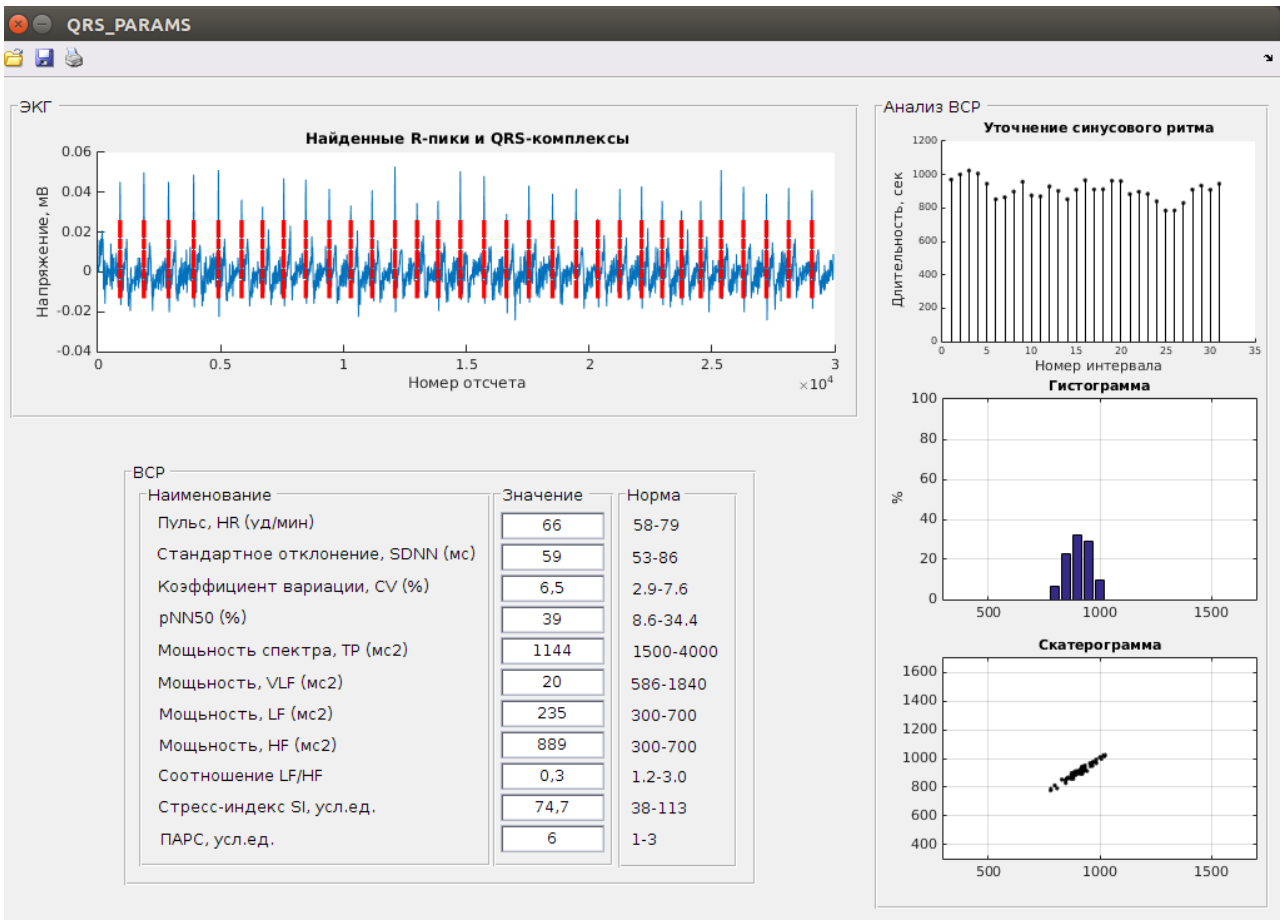


Рис.5. Графический интерфейс программы, реализующей метод *Пана – Томпкинса* и определение параметров ВСР

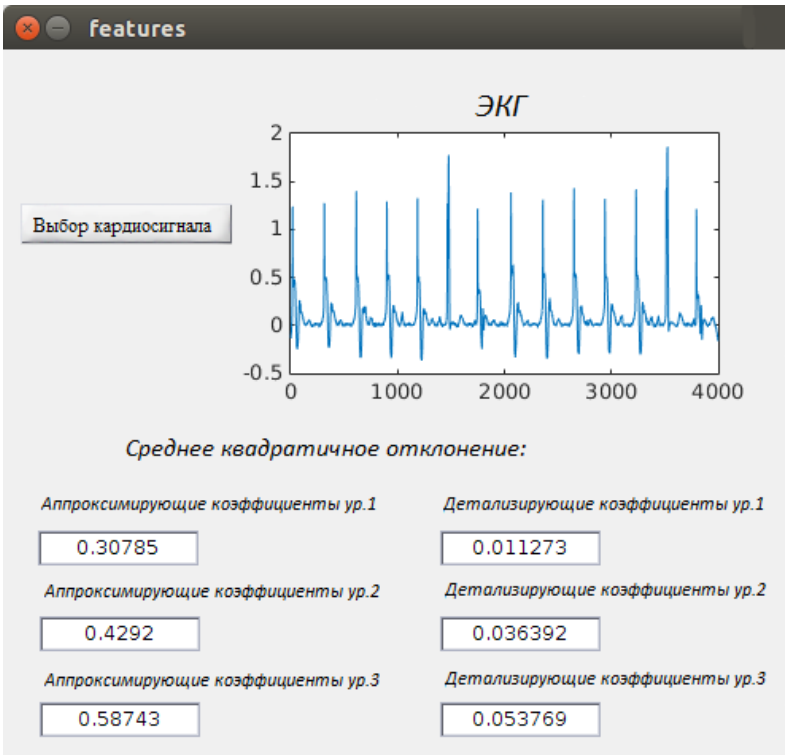


Рис. 6. Графический интерфейс программы, реализующий нахождение аппроксимирующих и детализирующих коэффициентов вейвлет-преобразования

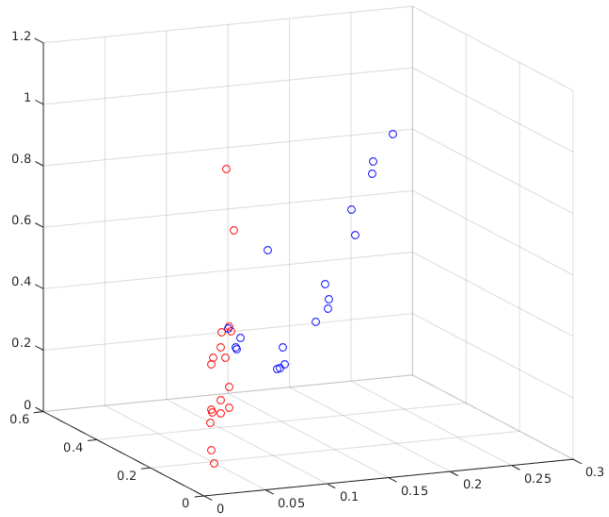


Рис. 7. Результат работы классификатора, основанного на методе *SVM*
(красным цветом показаны ЭКГ со здоровым синусовым ритмом, синим – с аритмией)

Заключение

В результате проведения данной работы была разработана программа в среде MatLab для классификации ЭКГ по болезням, в основу, которой заложен комбинированный метод выделения информативных признаков электрокардиосигнала. По результатам проведенных испытаний можно сделать вывод, что программа имеет достаточную работоспособность и может использоваться по назначению.

Литература

1. Дубровин В.И., Твердохлеб Ю.В., Харченко В.В. Автоматизированная система анализа и интерпретации ЭКГ // Радиоэлектроника, информатика, управление. – 2014. – С. 150 – 157.
2. Afseen Naaz, Mrs Shikha Singh. Feature Extraction and Analysis of ECG signal for Cardiac Abnormalities – A Review // International Journal of Engineering Research & Technology. – 2014. – P. 23 – 30.
3. Иванько Е.О., Иванушкина Н.Г., Синекоп Ю.С. Многоуровневый анализ электрокардиограмм для выявления поздних потенциалов предсердий // Электроника и Связь. – 2009. – С. 160 – 164.
4. Meyer O., Bischi B., Weihs C. Support Vector Machines on Large Data Sets: Simple Parallel Approaches // Data Analysis, Machine Learning and Knowledge Discovery. – 2013. – P. 20 – 27.
5. Калиниченко А.Н. Оценка точности вычисления спектральных показателей вариабельности сердечного ритма // Управление в медицине и биологии. – 2007. – С. 41 – 48.
6. Pan J., Tompkins W. A real – time QRS detection algorithm // IEEE Transactions on biomedical engineering. – 1985. – P. 230 – 235.
7. MedUniver [Электронный ресурс] // URL: http://meduniver.com/Medical/Therapy/118.html (дата обращения 29.12.15).
8. Polikar R. The Wavelet Tutorial [Электронный ресурс] // URL: http://person.hst.aau.dk/enk/ST8/wavelet_tutotial.pdf (дата обращения 29.12.15).

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННГО КО-АЛГОРИТМА ЭВОЛЮЦИИ РАЗУМА

Сахаров М.К.
Научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор, Карпенко А.П.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ХХ, Москва, Россия

PERFORMANCE INVESTIGATION OF MODIFIED MIND EVOLUTIONARY COMPUTATION CO-ALGORITHM

Sakharov M.K.
Supervisor: Dr., Prof., Karpenko A.P.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье представлена модификация ко-алгоритма эволюции разума (*CoMEC*), основанная на принципе увеличения разнообразия в популяциях при стагнации вычислительного процесса; предложена программная реализация метода в среде *Wolfram Mathematica.* Приведены результаты сравнительного исследования эффективности исходного версии ко-алгоритма *MEC*, предложенной авторами ранее, и его модификации. Исследование эффективности проводилось с использованием многомерных тестовых функций различных классов.

Abstract
This article presents the modified Mind Evolutionary Computation Co-algorithm (*CoMEC*) based on the concept of increasing the diversity of populations when a stagnation of computational process takes place; the proposed algorithm was implemented in *Wolfram Mathematica*. Results of the efficiency investigation performed with a use of several multidimensional benchmark optimization functions were presented in comparison with an unmodified *CoMEC*, proposed by authores earlier.

Введение

В работе [1] предложен коэволюционный алгоритм эволюции разума (*CoMEC*). Как показали исследования эффективности [1], этот алгоритм, несмотря на то, что он превосходит классический алгоритм MEC по вероятности локализации P_f глобального оптимума и среднему достигнутому значению целевой функции $\overline{\Phi}$, уступает более эффективному – меметическому алгоритму, предложенному авторами в работе [2]. В тоже время, меметический алгоритм обладает существенным недостатком – высокими вычислительными затратами в связи с дополнительной стадией локального уточнения решения.

Авторами была предпринята попытка повысить эффективность алгоритма *CoMEC*, не увеличивая при этом вычислительную сложность. Использована стратегия, увеличивающая разнообразие в популяциях при стагнации вычислительного процесса. Разработана модификация ко-эволюционного алгоритма, основанная на увеличение среднего квадратичного отклонения, используемом при случайной генерации агентов в популяциях по нормальному закону в зависимости от показателя стагнации. Предложена программная реализация метода, проведено широкое сравнительное исследование эффективности с использованием многомерных тестовых функций различных классов.

1 Модифицированный алгоритм *CoMEC*

Подробно постановка задачи и исходный алгоритм эволюции разума описаны в работе [2]. Отметим лишь, что алгоритм *MEC* удобно интерпретировать как мультипопуляционный. Мультипопуляция состоит из лидирующих групп $\boldsymbol{S}^b = (S_1^b, S_2^b, \dots, S_{|\boldsymbol{S}^b|}^b)$ и отстающих групп $\boldsymbol{S}^w = (S_1^w, S_2^w, \dots, S_{|\boldsymbol{S}^w|}^w)$, включающих в себя $|\boldsymbol{S}^b|$ и

$|S^w|$ субпопуляций соответственно. В исходном алгоритме *MEC* число индивидов в каждой из указанных субпопуляций полагается одинаковым и равным $|S|$. Алгоритм *MEC* построен на основе операций инициализации групп, локальных состязаний (*similar-taxis*) и диссимиляции (*dissimilation*). Операции локальных состязаний и диссимиляции итерационно повторяются до тех пор, пока не выполнены критерии останова.

Основная идея ко-эволюционных алгоритмов (ко-алгоритмов) оптимизации состоит в следующем. Одновременно в пространстве поиска эволюционируют несколько субпопуляций, каждая из которых решает исходную оптимизационную задачу и имеет свою стратегию оптимизации, которая определяется значениями свободных параметров субалгоритма (алгоритма, который управляет данной субпопуляцией). В процессе решения задачи субпопуляции конкурируют между собой за некоторый ресурс, который в процессе работы ко-алгоритма перераспределяется в пользу более эффективной из них [1].

В предложенном ко-алгоритме эволюции разума в качестве ресурса используется число агентов в каждой субпопуляции. После ранжирования и определения лидирующих и отстающих групп выполняется перераспределение числа индивидов внутри каждой группы по следующим правилам.

– задается минимально допустимый размер группы $|S_{min}|$.
– у всех отстающих групп S_j^w уменьшается число агентов $|S_j^w|$ пропорционально их счетам.
– при уменьшении числа агентов ниже минимально допустимого числа, число агентов в данной группе принимаем равным $|S_{min}|$.
– число индивидов всех лидирующих групп кроме победителя не изменяется.
– группа-победитель получает в дополнение к своим агентам всех агентов, удаленных из отстающих групп.

Таким образом, общее число агентов во всей популяции остается неизменным в течение всего вычислительного процесса.

Данная стратегия была дополнена механизмом предотвращения стагнации вычислительного процесса, который запускается при достижении счетчиком итераций стагнации значения, равного $0{,}5\,\lambda_{stop}$. Под стагнацией вычислительного процесса подразумевается ситуация, когда лучшее достигнутое значение целевой функции изменяется на величину, не превышающую некоторую заданную точность ε в течение λ итераций. Механизм подразумевает увеличение среднего квадратичного отклонения σ используемого при случайной генерации агентов в лидирующих группах по нормальному закону, с целью выхода из окрестности локального минимума. Также, варьирование параметра σ осуществляется в лидирующих группах пропорционально частоте удаления отстающих групп ω.

Модифицированный алгоритм получил название *CoMEC-St* (*Stagnation*).

2 Программная реализация и сравнительное исследование эффективности

Алгоритм *CoMEC-St* реализован в среде *Wolfram Mathematica*. Поскольку эффективность алгоритмов существенно зависит от случайного начального расположения индивидов, во всех исследованиях каждый вычислительный эксперимент повторялся 50 раз. В качестве основных критериев качества алгоритма и его программной реализации использованы среднее достигнутое значение целевой функции $\overline{\Phi}$, наилучшее достигнутое значение в рамках мультистарта Φ^*, а также оценка вероятности P_f локализации глобального минимума целевой функции [2]. Вычислительные эксперименты выполнены на персональном компьютере с двухъядерным процессором *Intel Core* 2 *Duo* 2,53 ГГц и оперативной памятью объемом 4 ГБ.

2.1 Тестовые функции

Рассматриваем восьмимерные ($|X| = 8$) многоэкстремальные функции Растригина, Розенброка, Гриванка, Захарова и Экли [1]. Для всех функций кроме функции Экли инициализация мультипопуляции осуществлялась в гиперпараллелепипеде

$$D = \{X| -5 \leq x_i \leq 5, i \in [1:|X|]\},$$

а для функции Экли – в гиперпараллелепипеде

$$D = \{X| -40 \leq x_i \leq 40, i \in [1:|X|]\}.$$

Глобальные минимумы всех функций, кроме функции Розенброка, достигаются в точке $X^* = (0,0,\ldots,0)$ и равны нулю. Для функции Розенброка глобальный минимум достигается в точке $X^* = (1,1,\ldots,1)$ и также равен нулю.

2.2 Вычислительный эксперимент

В рамках вычислительного эксперимента использовались следующие значения свободных параметров: начальное число индивидов в группе $|S| = 30$; число групп $\gamma = 150$; число лидирующих групп $|S^b| = 75$. В качестве условия окончания итерационного процесса использовалась его стагнация в течение $\lambda_{stop} = 100$ итераций, когда лучшее достигнутое значение целевой функции изменялось на величину, не превышающую $\varepsilon = 10^{-5}$. Начальное значение среднего квадратичного отклонения в группах $\sigma = 0{,}1$, частота удаления отстающих групп $\omega = 20$ итераций. Максимальное значение среднего квадратичного отклонения при запуске механизма предотвращения стагнации может достигать $\sigma_{max} = 2$. Результаты экспериментов представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1. Результаты вычислительных экспериментов

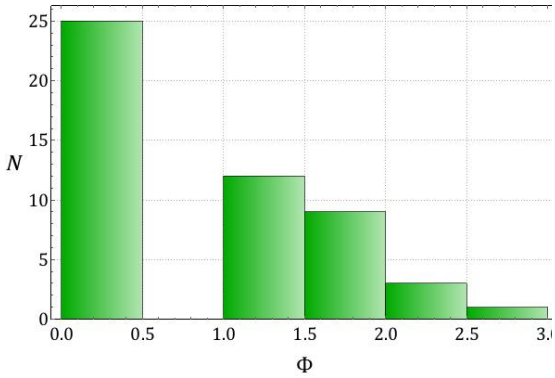
Тестовая функция	Среднее найденное значение целевой функции, $\bar{\Phi}$	Лучшее найденное значение целевой функции, Φ^*	Оценка вероятности локализации глобального минимума, P_f %	Среднее число итераий, $\bar{\lambda}$
Растригина	10,61E+00	4,63E+00	0 %	294
Гриванка	3,75E-04	1,54E-04	100 %	214
Розенброка	1,29E+00	0,19E+00	26 %	264
Захарова	2,86E-03	8,30E-04	100 %	216
Экли	0,87E+00	6,98E-02	50 %	406

Как видно из результатов эксперимента, алгоритм *CoMEC-St* успешно справляется с задачей локализации глобального оптимума для большинства тестовых функций, за исключением функции Растригина. При сравнении этих результатов с аналогичными результатами для алгоритма *CoMEC*, полученными в работе [1], можно сделать вывод об успешности предложенной модификации. К примеру, оценка вероятности P_f % локализации глобального минимума для восьмимерной функции Розенброка была повышена с 0% до 26%.

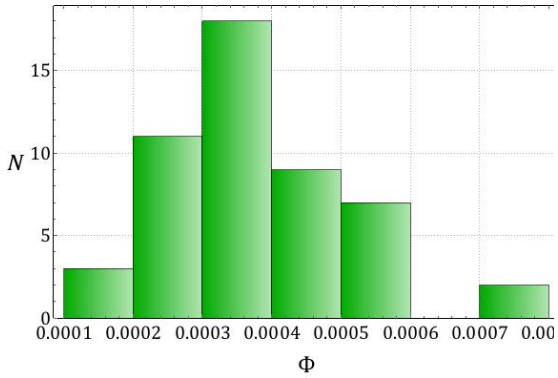
На рисунке 1 представлены распределения найденных значений целевой функции для различных тестовых задач. Из результатов видно, что в большинстве слуаев найденное значение целевой функции находится вблизи известного глобального оптимума, что свидетельствует о достаточно стабильной работе предложенного алгоритма и его программной реализации.

Заключение

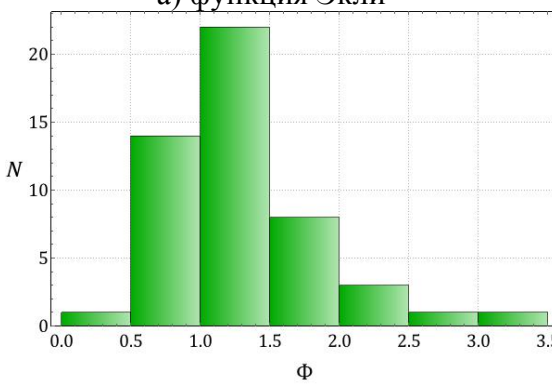
В работе предложена модификация ко-алгоритма эволюции разума *CoMEC*, дополненная механизмом предотвращения преждевременной сходимости решения к локальному оптимуму. Представлена программная реализация алгоритма, а также результаты исследования его эффективности с использованием многомерных тестовых функций.



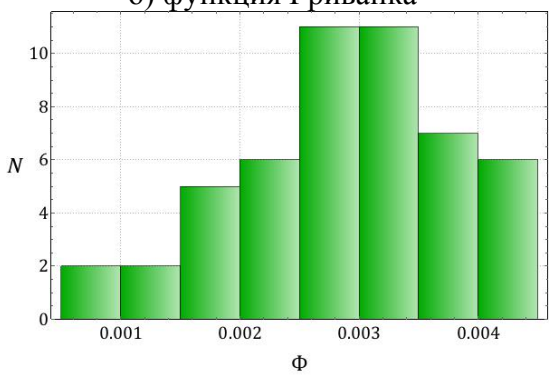
а) функция Экли



б) функция Гриванка



в) функция Розенброка



г) функция Захарова

Рис. 1. Частота N значений целевой функции Φ.

Полученные результаты демонстрируют превосходство алгоритма *CoMEC-St* над немодифицированной версией. В частности, данная модификация позволила локализовать глобальный оптимум в тестовых функциях Розенброка и Экли. Дальнейшие исследования в данной области планируется посвятить анализу механизмов предотвращения преждевременной сходимости алгоритмов и средствам оценки разнообразия индивидов в популяциях.

Литература

1. Сахаров М. К. Разработка и исследование ко-алгоритма эволюции разума // Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2015. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – С. 75-79.
2. Карпенко А.П., Сахаров М.К. Мультимемеевая глобальная оптимизация на основе алгоритма эволюции разума // "Информационные технологии" выпуск 7, 2014. С. 23-30.
3. Сахаров М.К., Карпенко А.П., Велисевич Я.И. Мультимемеевый алгоритм эволюции разума для слабосвязанных систем на основе персональных компьютеров // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журнал. 2012. № 4. Режим доступа: http://www.technomag.edu.ru/doc/355729.html (дата обращения 24.01.2015).

ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПРОЧНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО УЗЛА С АРХИТЕКТУРОЙ INTEL MIC(INTEL MANY INTEGRATED CORE ARCHITECTURE)

Щетинин В.Н.
Научный руководитель: к.ф-м.н. Соколов А.П.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра РК6, Москва, Россия

OPTOMIZATION OF STRENGTH SURFACE BUILDING ALGORITHM FOR COMPUTATION NODE WITH INTEL MIC (INTEL MANY INTEGRATED CORE) ACHITECHTURE

Schetinin.N.
Supervisor: PhD.Sokolov A.P.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация
Целью исследования было создание параллельной программной реализации численного метода, предназначенного для построения моделей поверхности первичного разрушения исследуемых композиционных материалов, оптимизированной для использования на вычислительном узле с архитектурой *INTEL MIC*. Были использованы: векторизация вычислений с помощью инструкций *SSE*, многопоточное программирование с использованием *OpenMP*, *offload* инструкции компилятора *IntelCompiler* для организации вычислений на сопроцессоре. Использовались методы асимптотического осреднения и конечных элементов. Были проведены вычислительные эксперименты для серии моделей композиционных материалов.

Abstract
The aim of the study was the creation of a parallel implementation of a numerical method for constructing models of the surface of the primary fracture study of composite materials optimized for use on a computing node with INTEL MIC architecture. Vectorization of calculations using the SSE instructions, multithreaded programming with OpenMP, offload instructions of Intel Compiler for using the coprocessor were used. Homogenization and Finite elements method were used in basis. Computational experiments have been carried out for a series of models of composite materials.

Введение

В процессе решения прикладных задач анализа механических характеристик композиционных материалов (КМ) часто применяют численные подходы, одним из которых является метод асимптотического осреднения (МАО), который в зарубежной литературе часто называется просто гомогенизацией[1, 2]. В основе метода лежит решение серии краевых задач L_{pq} специального вида, называемых «локальными»[3], каждая из которых решается методом конечных элементов (МКЭ).

В процессе инженерного анализа композитных конструкций МАО используется для того, чтобы обеспечить замену неоднородного материала композитного элемента исследуемой конструкции эквивалентным материалом с осредненными характеристиками, которые называются эффективными характеристиками (ЭХ).

МАО обеспечивает возможность предварительного расчёта линейных характеристик периодических гетерогенных структур, с помощью которых могут быть описаны схемы армирования композиционных материалов, используемых в конструкции. К таким характеристикам следует отнести эффективные упругие (тензоры модулей упругости C_{ijkl}), тепловые(тензоры теплопроводности α_{ij}), электростатические и прочие характеристики. После определения ЭХ композитные элементы исследуемой конструкции могут быть заменены на эквивалентные однородные элементы с определёнными свойствами. Далее, к примеру, в процессе решения задач о напряженно-деформируемом состоянии (НДС)

композитные элементы конструкции могут быть разбиты на значительно более грубую конечно-элементную сетку, что позволяет существенно снизить вычислительные затраты.

Для практически значимых задач, однако, расчёт упругих характеристик композитов не столь актуален. Чаще встаёт задача определения эффективных упруго-прочностных характеристик и конкретно -предела пропорциональности по выбранному направлению или в заданном сечении.

Задача расчёта предела прочности для фиксированного пути нагружения требует существенных вычислительных ресурсов. Для расчёта сечения поверхности прочности требуется многократный расчёт предела пропорциональности для различных путей нагружения в плоскости, заданной двумя выбранными компонентами тензора напряжений σ_{ij}. Такой расчёт для нескольких сотен путей нагружения приводёт к часовым временным затратам.

Поэтому понадобилось создание параллельного алгоритма и оптимизация его под вычислительный узел с архитектурой *Intel MIC*, которая, по мнению авторов, наилучшим образом подходит для решения данной задачи.

1 Постановка задачи построения поверхности прочности композиционного материала

Напряженно-деформированное состояние материала в общем случае определяется тензором напряжений σ. Для пространственного случая в классической теории упругости тензор напряжений симметричен и имеет шесть независимых компонент. Существует ряд математических теорий прочности и все они базируются на введении и вычислении специальной скалярной функции повреждаемости с последующим ее сравнением с единицей:

$$F\,(\sigma_{ij}(x),\, S^{\alpha}(x)) \vee 1, \qquad (1)$$

где x – декартовы координаты точки;$\sigma_{ij}(x)$ – текущее напряженно-деформированное состояние в точке x, характеризуемое значениями компонент тензора напряжений; $S^{\alpha}(x)$ – прочностные характеристики материала α в точке x.

1.1 Упрощённый квадратичный критерий прочности

Используем критерий прочности, записанный в форме

$$B\sigma + B_1\sigma^2 + B_2\,\sigma_i^2 = 1. \qquad (2)$$

Здесь константы B, B_1, B_2 можно выразить через пределы прочности на растяжение σ_τ, на сжатие σ_c,на сдвиг σ_s; σ – первый инвариант тензора напряжений; σ_i- интенсивность тензора напряжений.

1.2 Формальная постановка задачи

Задана модель композиционного материала, которая определена характерным объемом области КМ, определяющим схему армирования всего материала, называемым ячейкой периодичности (ЯП). Для каждого материала-компонента заданы упруго-прочностные свойства: минимально достаточный набор упругих констант- модули Юнга E_X, E_Y, E_Z; коэффициенты Пуассона ν_{XY}, ν_{YZ} ,ν_{XZ}; модули сдвига G_{XY}, G_{YZ}, G_{XZ}; минимально достаточный набор пределов пропорциональности каждого материала-компонентаКМ.

Требуется определить:

- компоненты эффективного тензора модулей упругости C_{ijkl};
- компоненты эффективного тензора упругих податливостей Π_{ijkl};
- эффективные упругие модули- модули Юнга, коэффициенты Пуассона, модули сдвига;
- эффективные технические пределы пропорциональности для любых произвольно выбираемых простых путей нагружения, определяемых в шестимерном пространстве тензора напряжений;
- сечения поверхностей прочности первичного разрушения в заранее определённых двух выбранных осях компонент тензора напряжений.

2 Программная реализация вычислительного алгоритма

Разработка программной реализации алгоритма решения поставленной задачи была осуществлена с использованием языка программирования C++, графоориентированной технологии построения программных реализаций сложных вычислительных методов Распределенной вычислительной системы GCD[5].

Схема последовательной программы имеет следующий вид.

1) Инициализация объектов: конечно-элементная сетка; тип конечного элемента; фиксированный набор из шести граничных условий (ГУ), необходимых для метода гомогенизации; данные о материалах-компонентах исследуемого КМ.

2) Для всех краевых условий (для каждой задачи L_{pq}) решение задачи о напряженно-деформированном состоянии согласно следующей последовательности операций: инициализация объекта решателя системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ); ассемблирование матрицы жесткости и вектора правой части; решение СЛАУ; по найденному полю вектора перемещений U_i поиск компонент тензора деформации ε_{ij} и тензора напряжений σ_{ij}.

3) Поиск тензора концентрации напряжений B_{ijkl}.

4) Расчет пределов первичного разрушения: инициализация набора путей нагружения; вычисление пределов пропорциональности.

2.2 Параллельная программная реализации алгоритма

Программа алгоритма вычисления точек сечений поверхностей прочности исследуемых КМ была реализована на вычислительном узле с архитектурой Intel MIC. Узел включает в себя: управляющий хост на базе двух процессоров IntelXeon E5-2695 с общей памятью; сопроцессор IntelXeonPhi 7120, подключенный к PCI слоту хоста.Технические характеристики вычислительного узла:

- IntelXeon E5-2695, имеющий 12 физических ядер с тактовой частотой 2.4GHz (24 логических ядра); объем оперативной памяти-64 Гб; объем кэш памяти ядра-30 Мб; длина векторного регистра- 256 бит;
- IntelXeonPhi 7120- 61 физическое ядро с частотой 1.238 GHz каждое (244 логических ядра); объем оперативной памяти- 6Гб; объем кэш памяти ядра- 30 Мб; длина векторного регистра- 512 бит.

Для компиляции был использован специализированный пакет IntelParallelStudio 2016 XE ComposerEdition.

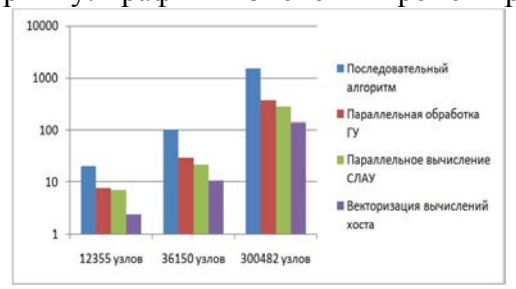
Легко заметить, что основная вычислительная часть последовательной схемы алгоритма может быть легко распараллелена: задачи Lpq о НДС для разных ГУ независимы и могут быть решены параллельно, каждая в отдельном потоке. Многопоточное программирование осуществлялось при помощи технологии OpenMP.

Для решения СЛАУ МКЭ использовался метод сопряженного градиента (ConjugateGradient (CG)). Основная ресурсоемкая операция этого итерационного метода – вычисление произведения матрицы на вектор. Эта операция хорошо распараллеливается на системах с общей памятью.

Используемый процессор IntelXeon E5-2695 имеет векторный регистр длиной 256 бит, что позволяет, используя набор команд ассемблера SSE, векторизовать следующие части алгоритма: решение СЛАУ; вычисление компонент тензоров деформации и напряжений; вычисление компонент тензора концентрации напряжений.

С точки зрения параллельных вычислений расчёт отдельного предела прочности по заданному фиксированному простому пути нагружения никак не связан с аналогичным расчётом для другого пути, что позволяет эффективно задействовать архитектуру Intel MIC в части многопоточного распараллеливания вычислений по отдельным путям нагружения.

Были проведены вычислительные эксперименты для трех конечно-элементных сеток. Каждая из перечисленных выше возможностей ускорения расчёта была применена к алгоритму. Графики изменения времени расчёта показаны на рис. 1.



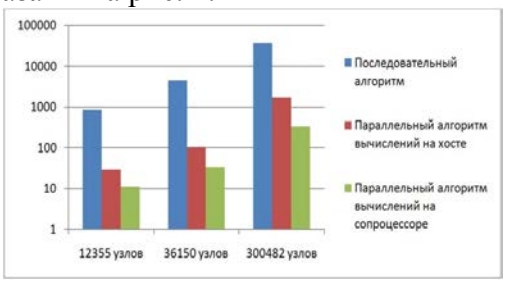
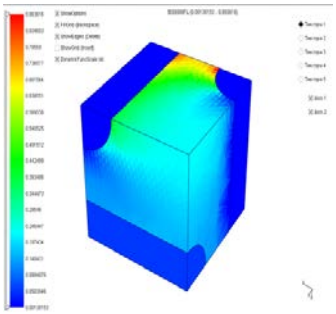
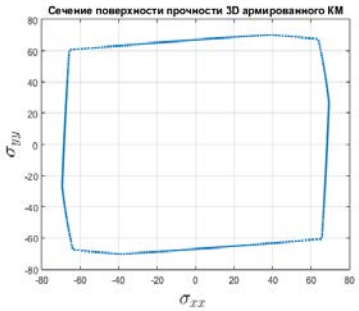


Рис. 1. Зависимости времени проведения расчётов от размерности КЭ сетки

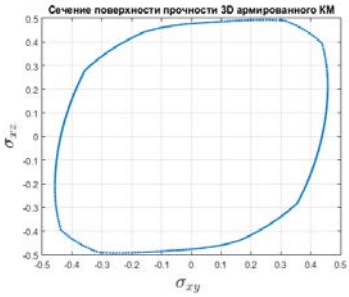
3 Примеры графических результатов расчётов



)



б)



в)

Рис. 2. а) Поле функции повреждаемости при растяжении по оси OX 3D-армированного композиционного материала; б, в) Сечения поверхности прочности 3D-армированного КМ в осях компонент тензора напряжений: σ_{xx}, σ_{yy}и σ_{xz}, σ_{xy}

Заключение

В работе предложена параллельная программная реализация алгоритма построения сечений поверхности прочности композиционного материала для архитектуры Intel MIC. В процессе проведения вычислительных экспериментов был получен существенный прирост производительности (более чем на один порядок), что было связано с распараллеливанием алгоритма гомогенизации, использованием сопроцессора IntelXeonPhi для операций линейной алгебры и активным использованием расширенных векторных инструкций SSE процессора. Работа выполнена на инициативной основе

Литература

1. N. S. Bakhvalov, G. P. Panasenko. Homogenization: Averaging processes in periodic media. Mathematical Problems in the Mechanics of Composite Materials. Mathematics and its Applications, vol. 36: Springer, 1989.
2. G. Pavliotis, A. Stuart. Multiscale methods: Averaging and homogenization. Texts in Applied Mathematics, vol. 53, 2008.
3. Димитриенко Ю.И. Кашкаров А.И. Разработка конечно-элементного метода решения локальных задач теории упругости на ячейке периодичности для композитов с периодической пространственной структурой // Математика в современном мире / Под ред. Ю.А.Дробышева., 2004, с. 177–191.
4. A. K. Malmeister, V. P. Tamuj, G. A. Teters. The resistance of polymer and composite materials: Riga, Zinatne, 1980.
5. Соколов А.П., Щетинин В.Н., Макаренков В.М.. Опыт применения теории графов для создания гибких сопровождаемых масштабируемых программных реализаций сложных вычислительных методов: Издательство МАИ,2015.

СЕТЕВАЯ РЕПЛИКАЦИЯ ДАННЫХ В КРОССПЛАТФОРМЕННОМ ПО ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕРФЕЙСА НА УДАЛЕННОМ УСТРОЙСТВЕ

Сериков И.С.
Научный руководитель: к.т.н., доцент, Федорук В.Г.
МГТУ им. Н.Э. Баумана,кафедра РК6, Москва, Россия

NETWORK DATA REPLICATION IN A CROSS-PLATFORM SOFTWARE FOR GENERATING INTERFACE ON THE REMOTE DEVICE

I.S.Serikov
Supervisor: Ph. D., associate Professor, V.G.Fedoruk
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация
Доклад посвящен разработке метода формирования пользовательского интерфейса на удалённом устройстве в условиях кроссплатформенного взаимодействия программ. В работе кратко рассмотрены существующие реализации решений подобных задач. Описан алгоритм разработанного метода. Описан пример, реализующий этот метод.

Abstract
This paper describes the development of a method of forming a user interface on a remote device in terms of cross-platform interaction programs. In the work briefly examines the existing implementation of solutions to these problems. Described algorithm of the developed method. Described an example that implements this method.

Введение

В связи с расширением рынка информационных услуг производители программного обеспечения стали выпускать все более интеллектуальные, а значит, и объемные программные комплексы. Росла сложность вычислений – росли требования к компьютерам, на которых эти вычисления выполнялись. Чтобы снизить стоимость оборудования была разработана архитектура клиент-сервер. На сервере выполнялись вычисления, а доступ к результатам осуществлялся при помощи сетевого соединения с клиентского приложения.

В связи с появлением мобильных устройств под управлением полноценных операционных систем клиентские приложения стали появляться и на них. Это так называемые «толстые» и «тонкие» клиенты. Так же можно выделить такие решения как программы удаленного доступа.

В «толстом» клиенте реализована вся логика по обработке данных, а сервер выступает лишь в роли хранилища данных. С этим связаны и главные недостатки такого типа решений. Для каждого серверного приложения необходима установка и настройка соответствующего приложения на клиенте. Необходимость обновления. Большие затраты на разработку клиента для нескольких платформ.

В качестве «тонкого» клиента обычно выступает веб-браузер. Главным минусом здесь является то, что различные браузеры могут по-разному формировать одну и ту же страницу с интерфейсом. Особенно это касается относительно старых решений. Скорее всего, решение двух-трехлетней давности, запущенное в современном веб-браузере, будет отображаться не так, как это задумал разработчик.

Минусом программ удаленного доступа является неудобство их использования на различных платформах, в частности на мобильных устройствах. Адекватно управлять целым компьютерным рабочим столом с экрана мобильного телефона не представляется возможным.

1 Общие принципы

В рамках данной работы решается задача динамического формирования интерфейса на удаленном устройстве. Клиент представляет собой универсальное приложение. Все данные об интерфейсе хранятся на сервере и скачиваются на клиент в момент подключения. Это позволяет использовать одно клиентское приложение для работы с любыми серверными приложениями. Отсутствует главный минус программ удаленного доступа – неудобство управления.В данной работе для описания интерфейса используется язык QML.В качестве серверного приложения для примера была разработана игра «Монополия» на основе игрового движка UnrealEngine 4. Для сетевого взаимодействия используются сокеты.

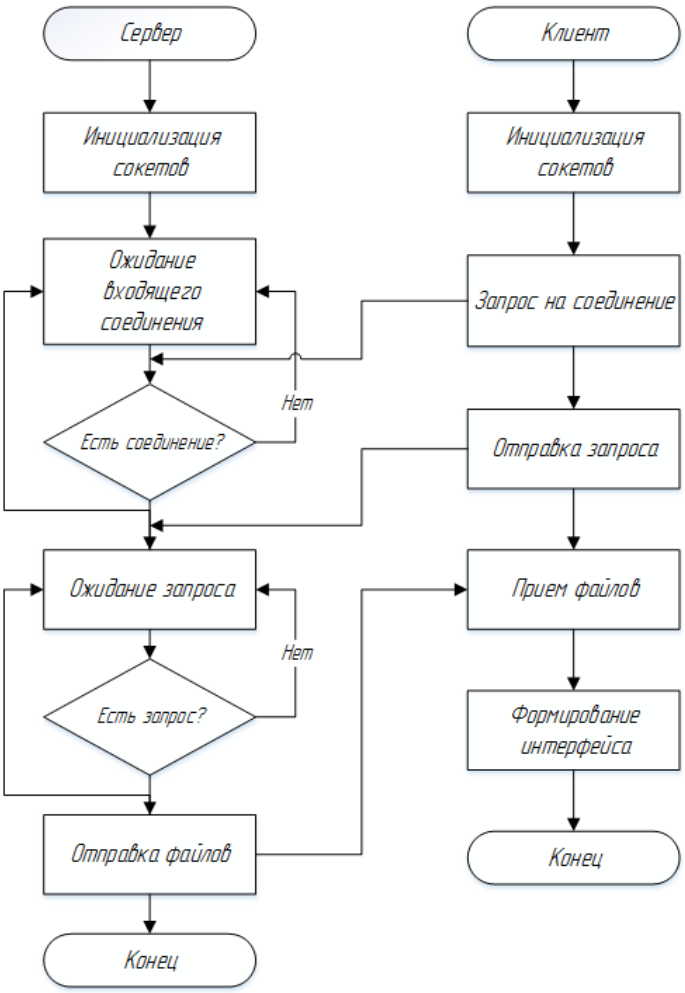


Рис. 1. Блок-схема взаимодействия клиента и сервера.

2 Серверная подсистема

Полноценное приложение, в котором реализована вся игровая логика. Принимает сообщения от клиентов, обрабатывает их, и в зависимости от сообщения, выполняет то или иное действие (игровые действия, отправка файлов). Сетевая составляющая реализована в отдельном классе. В этом классе присутствуют следующие методы:

– функция, в которой инициализируется сокет сервера и запускается функция прослушки запроса на соединение.

– функция, которая отслеживает запросы на установление соединения с сервером. В случае запроса на соединение инициализируется сокет клиента. Происходит попытка

установления соединения. В случае установления соединения вызывается функция прослушки входящих сообщений.

– функция, которая отслеживает входящие от клиента сообщения.

– функции, объявленные в C++ классе, а определенные в blueprint-редакторе. Вызывают разработанные функции броска кубиков и смены игрока.

– функция, выполняющая отправку файла на подключенный клиент. Принимает на вход название файла и путь к нему. Выполняет отправку имени файла, а затем в цикле считывает блоки данных из файла и отправляет их на клиент.

– обработчик сообщений. Вызывает необходимые функции в зависимости от принятого сообщения.

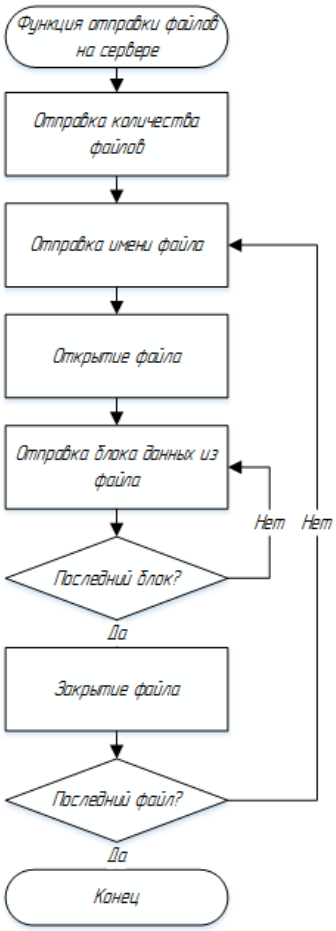


Рис. 2. Блок-схема функции отправки файлов на сервере

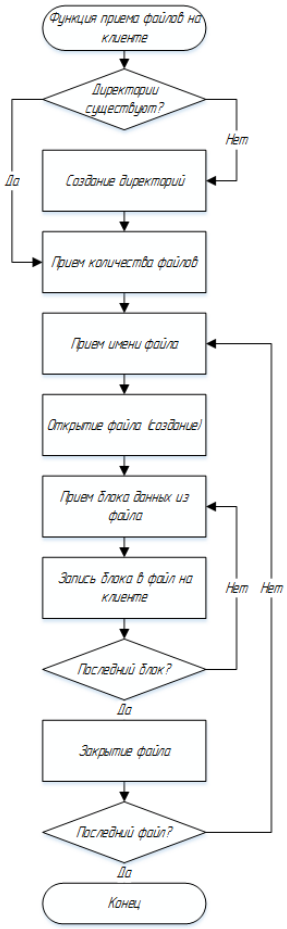


Рис. 3. Блок-схема функции приема файлов на клиенте

3 Клиентская подсистема

Кроссплатформенная программа-клиент. Разработана на языке C++ и QML. Выполняет прием файлов, динамически формирует интерфейс на их основе.

На начальном экране присутствует только одна кнопка. При нажатии на нее выполняется отправка сообщения на сервер. Оно интерпретируется как запрос на загрузку qml-файлов для формирования интерфейса. Сервер запускает функцию, отправляющую необходимые файлы на клиент. В свою очередь, клиент запускает функцию, которая выполняет прием этих файлов. После приема и сохранения файлов, они устанавливаются в качестве источника для интерфейса приложения.

Заключение

В результате проделанной работы было создано следующее программное обеспечение:

– приложение «Монополия» с серверной частью на основе Unreal Engine 4. Принимает сообщения от клиентов, обрабатывает их, и в зависимости от сообщения, выполняет то или иное действие (игровые действия, отправка файлов).

– кроссплатформенная программа-клиент. Разработана на языке C++ и QML. Выполняет прием файлов, динамически формирует интерфейс на основе принятых файлов.

Реализованный метод не имеет обозначенных выше недостатков уже существующих решений и имеет широкую сферу применения. Начиная от примера, рассмотренного с данном докладе, и заканчивая системой тестирования в университете.

Главным недостатком текущей реализации метода является то, что при добавлении в интерфейс новых элементов управления, клиентское приложение придется обновлять. Эту проблему можно решить с помощью файла соответствия кодов отправляемых сообщений на сервер и идентификаторов элементов интерфейса. Этот файл будет загружаться с сервера на клиент вместе с файлами интерфейса.

Литература

1. UnrealEngine 4 Documentation [Электронный ресурс] // UnrealEngineTechnology: сайт. Режим доступа: https://docs.unrealengine.com(дата обращения 14.12.15).
2. Unreal Engine 4 для развития своих способностей [Электронный ресурс] // Хабрахабр: интернет-портал. Режим доступа: http://habrahabr.ru/post/249965/(дата обращения 14.12.15).
3. Qt Documentation [Электронный ресурс] // Qt: сайт. Режим доступа: http://doc.qt.io/(дата обращения 14.12.15).
4. Android Developers [Электронный ресурс]: сайт. Режим доступа: http://developer.android.com/index.html(дата обращения 14.12.15).
5. Федорук, В.Г. Сетевое программирование в ОС UNIX. [Электронный ресурс] // Учебно-методические материалы к курсу «Разработка программных систем» для бакалавров. Режим доступа: http://fedoruk.comcor.ru/Dev_bach/netprg1.html(дата обращения 14.12.15).

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ УСТОРОЙСТВ ДЛЯ СРЕДСТВ СВЯЗИ СО ВСТРОЕННЫМИ СИСТЕМАМИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ

Стенькина М.П.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Черунова И.В.
ИСОиП (филиал) ДГТУ, кафедра «Конструирование, технологии и дизайн»,
Шахты, Россия

DEVELOPMENT TECHNOLOGY DESIGN SAFETY DEVICES FOR COMMUNICATION WITH BUILT HEAT TRANSFER SYSTEM

Stenkina M.P.
Supervisor: Dr., Prof. Cherunova I.V.
ISB (branch) DSTU,
MSTU, Shakhty, Russia

Аннотация
В статье рассматриваются аспекты формирования рисков отказа работы средств связи в условиях пониженных температур, которые могут быть снижены, а в эффективных системах - устранены путем разработки и применения специальных защитных устройств. Представлена принципиальная схема конструкции теплозащитного чехла. Исследована эффективность нагрева термопроводящих нитей.

Abstract
The article examines aspects of the formation of the risks of failure in communications at low temperatures, which can be reduced, and efficient systems - eliminated through the development and application of special protective devices. The basic scheme of the cover design of the heat. The efficiency of heating the thermally conductive threads.

Введение

Для современного человека мобильный телефон является предметом первой необходимости. Звонки, СМС, интернет, определение времени, денежные переводы – все зависит от работы этого устройства. При этом всем хорошо известна проблема негативного воздействия пониженных температур на мобильный телефон. При пониженных температурах замедляются химические реакции в аккумуляторах используемых в современных средствах связи, теряется емкость аккумулятора, и устройство может дать сбой в работе или отключиться, а экстремально низкие температуры могут полностью вывести из строя аккумулятор.

Стоит отметить, что в целях и задачах Русского географического общества выделено содействие масштабному распространению и внедрению в практику лучших достижений отечественной науки, а также сбор, обработка и распространение достоверных общемировых и национальных географических, экологических, этнографических и статистических сведений в России и за рубежом [1]. А поскольку смартфон является главным источником сбора, хранения и передачи информации то актуальной проблемой является поддержание стабильной работы и предотвращение выключения смартфонов и коммуникаторов в условиях пониженных температур для комфорта человека.

Целью работы является разработка принципиального решения и технологических основ создания комбинированного материала и специального защитного чехла для поддержания стабильной работы мобильных средств связи в условиях пониженных температур на основе использования встраиваемой системы автоматической терморегуляции.

Задачами исследования являются:

- обоснование выбора материалов для конструкции;

-определение технических параметров получения канала для встраивания гибкой полимерной теплопередающей нити;

- разработка принципиального решения защитного устройства для средств связи со встроенными системами теплопередачи.

Для решения задач должны быть использованы основные положения системного подхода (система средства мобильной связи (например – смартфон) –теплозащитный чехол – окружающая среда), и следующие методы исследования:

- методы анализа ситуаций;
- методы планирования эксперимента;
-методы математической статистики;
- методы автоматизированного проектирования швейных изделий

Новизна заключается в создании научно – обоснованного способа деструктуризации мягкого эластичного пористого материала с встраиванием полимерных нитей для теплопередачи в слое материала защитного устройства средств мобильной связи от холода.

В работе проведено аналитическое исследование аналогов разработки. Выявлено наличие защитных средств для мобильных устройств в первую очередь от механических повреждений. При этом непосредственные аналоги со встроенной системой теплопередачи через слой эластичного пористого материала защитной конструкции через полимерные нити не найдены.

1 Воздействие пониженных температур на стабильность работы мобильных средств связи

Функционирование любого аккумулятора, используемого в современном мобильном телефоне (никель-металлгидридные, литий-ионные, литий-полимерные), основано на химических реакциях, которые замедляются при низких и высоких температурах. При этом теряется емкость аккумулятора и телефон может отключиться, а литий-полимерная батарея может полностью выйти из строя [2].

Также известны случаи взрывов смартфонов при пониженных температурах. Так в 2011 году в Норвегии был зафиксирован взрыв iPhone при попытке зарядить его в машине в условиях пониженной температуры. Аппарат не успел согреться, а температура воздуха на улице составляла -12 градусов Цельсия [3].

После этого случая на финском сайте MikroPC были опубликованы результаты краш-теста на устойчивость телефонов к переохлаждению [4]. Экспериментам подверглись 18 моделей телефонов: iPhone 4S, iPhone 4, Nokia C1-01, Nokia C2-02, Nokia C5-00, Nokia C5-03, Nokia C6-01, Nokia E7, Nokia E65, Nokia N8, Nokia N9, Nokia 700, HTC Evo 3D, Samsung Galaxy S Plus, Samsung Gio, Samsung Mini, Samsung Galaxy S II, Samsung Xcover. Исследвание проводилось в специальной холодильной установке [4].

Уже при температуре -5 С возникли первые проблемы. У iPhone 4S появились проблемы с доступом к SIM-карте, а Nokia N9 показал низкий заряд батареи. При температуре – 35° С все исследуемые модели телефонов отключились.

Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты краш-теста на устойчивость телефонов к переохлаждению

Температура, °С	Модель телефона	Состояние после охлаждения
1	2	3
-5	iPhone 4S	проблемы с доступом к SIM-карте
	Nokia N9	Низкий заряд батареи
-10	Samsung Gio	проблемы функционирования
	Samsung Mini	проблемы функционирования
	Nokia C1-01	проблемы функционирования
-15	Nokia C5-00	проблемы функционирования
	Nokia C5-03	проблемы функционирования
	Nokia E7	проблемы функционирования
	Nokia E65	проблемы функционирования
	HTC Evo 3D	проблемы функционирования
	Nokia C6-01	Отключился
	Nokia C2-02	проблемы функционирования
-20	Samsung Galaxy Gio	проблемы функционирования
	iPhone 4	Отключился
	Nokia C5-03	Отключился
	Nokia E7	Отключился
	Nokia N8	Отключился
	Nokia N9	Отключился
	HTC Evo 3D	Отключился
	Nokia 700	Отключился
-25	Nokia C5-00	Отключился
	Samsung Galaxy S Plus	Отключился
	Samsung Gio	Отключился
-30	Samsung Mini	Отключился
	Galaxy S II	Отключился
-35	Nokia C2-02	Отключился
	Samsung Xcover	Отключился
	Nokia C1-01	Отключился
	Nokia E65	Отключился

Таким образом, было доказано отрицательное воздействие пониженных температур на стабильность работы мобильных средств связи.

Для решения обозначенной проблемы было предложено использование специального теплозащитного изделия – чехла с автоматической терморегуляцией на основе комбинированного материала, получаемого путем лазерной деструктуризации пористого полимера со встраиванием в его структуру теплопроводящих нитей (мягких кабелей).

2 Материалы для теплозащитной конструкции

В качестве основного материала для конструкции теплозащитного чехла были рассмотрены неопрен и натуральная кожа толщиной 0,3 см.

Неопрен представляет собой вспененный полимер, который благодаря специальной технологической обработке имеет закрытую мелкоячеистую структуру (рис. 1). Ячейки неопрена заполнены азотом, что обеспечивает термоизоляцию. Неопрен является высокоэластиченым материалом, поэтому он плотно облегает поверхность любой формы. Выпускают неопрен толщиной от 0,5 мм до 10 мм, что должно быть учтено на этапе

проектирования изделия. Температурный диапазон, при котором Неопрен не теряет своих свойств от -50 до +100 градусов Цельсия [5].

Рис. 1. Схема строения материала «Неопрен»

Основными видами кожевого сырья являются шкуры крупного рогатого скота - коров, быков, а также конские козьи, овечьи, свиные. В вертикальном срезе кожевой ткани можно выделить три основных слоя: эпидермис, дерма, подкожно-жировая клетчатка (рис.2).

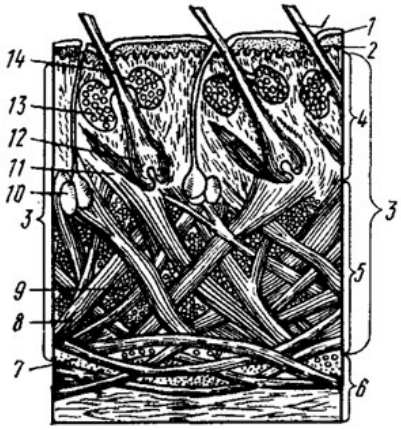


Рис. 2. Схема строения шкуры (1 – роговой слой; 2 – ростковый слой; 3 – дерма; 4 – сосочковый слой; 5 – сетчатый слой; 6 – подклжно-жировая ткань; 7 – жировые отлажения; 8 – пучок коллагеновых волокон; 9 – поперечный разрез пучка коллагеновых волокон; 10 – потовая железа; 11 – мускул, поддерживающий волос; 12 – волосяная сумка; 13 – сальная железа; 14 – волос)

Натуральная кожа – это кожевая ткань с удаленным волосяным покровом, которая в зависимости от способа выделки может быть толстой грубой или тонкой пластичной. По толщине одежно-галантерейные кожи делятся на четыре группы: тонкие, средние, толстые, с колебаниями толщины от 0,3 до 1,6 см. Термостойкая кожа является хорошим проводником тепла и способна выдерживать высокие термические нагрузки до 380 ^{o}C [6].

3 Технические средства обеспечения локальной терморегуляции

В результате исследования выделены технические средства (проводящие элементы тепла) для обеспечения подогрева.

Греющий кабель, который состоит из сердечника высокого сопротивления, оболочки, выполненной из алюминия или медной сетки, и изолирующего материала.

Недостатками данного технического средства являются высокая цена и ограниченный модельный ряд (по фасону и расцветкам), а также - относительно толстое сечение

нагревательного кабеля, что приносит некоторые неудобства при эксплуатации. Достоинства - относительно широкая область обогрева.

Плёночные нагревательные элементы разработаны в 2009 году Китайскими и Корейскими компаниями для питания от аккумуляторов от 7 до 12 Вольт. Эта технология упростила производство изделий с подогревом. Недостатком этих нагревательных элементов является ломкость (неспособность выдерживать нагрузки и деформации при активной эксплуатации). Достоинством этих элементов являются хорошая температура нагрева, простота и функциональность, относительно невысокая цена.

Гибкие нагревательные элементы с углеродными волокнами состоят из двух слоев водоотталкивающего материала с углеродным нагревателем между ними. Эти нагревательные элементы не перегорают, легко переносят любые (разумные) нагрузки и деформации. Обогрев такими элементами безопасен и даже полезен для здоровья, ввиду инфракрасного излучения. Нагревательные элементы имеют низкое энергопотребление и характеризуются высокой теплоотдачей [7].

Ткани с металлизированными нитями и волокнами – являются проводящими материалами по всей поверхности.

Специальная силиконовая термопроводящая нить, обладающая качественно новыми проводящими свойствами: эластичность, малая мощность, экологичность, структурная и технологическая гибкость.

4 Сравнительное исследование термопроводящих нитей

В ходе работы были проведены сравнительные исследования стальной и силиконовой термопроводящих нитей. Измерения температуры нагревания и охлаждения материала со встроенными термопроводящими нитями осуществлялись с помощью тепловизора FLIR ix series на поверхности условного манекене. В течение 10 минут с частотой измерения 30 секунд фиксировалось значение температуры поверхности материала в точке, минимальное и максимальное по всей поверхности. Изменение нагрева и охлаждения материалов представлена в соответствии с рисунком 3.

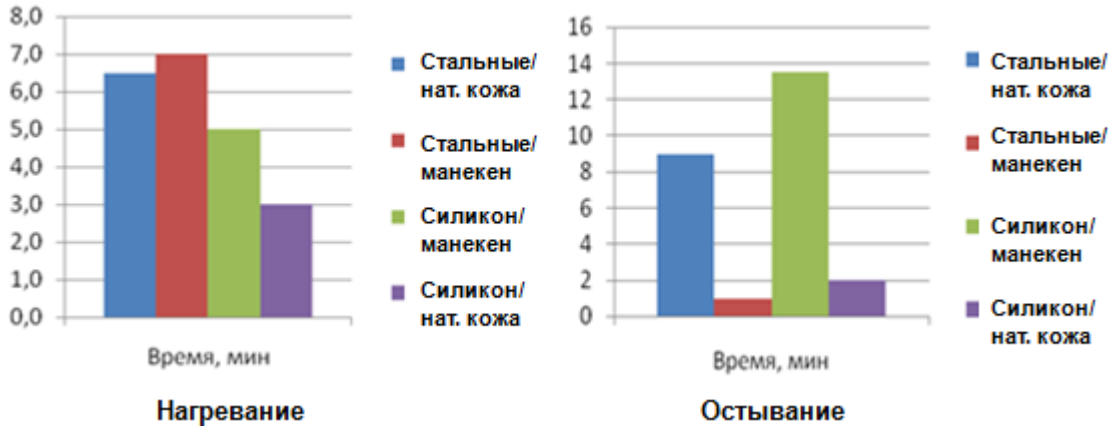


Рис. 3. Сравнительный анализ эффективности нагрева стальной и силиконовой нитей

Исследования показали, что силиконовая нить приводит к более эффективному (по скорости) режиму нагревания, и имеет больший запас тепла без дополнительных источников энергии.

4 Разработка элементов технологии встраивания термопроводящих элементов в структуру материала

Технология локального терморегулирования заключается в следующем: термопроводящая силиконовая нить прокладывается с внутренней стороны материала в каналы, полученные путем высокоточного геометрического деструктурирования с помощью лазерного разрушения в заданных параметрах.

В ходе исследования были экспериментально установлены технические характеристики получения канала необходимой глубины для прокладывания силиконовой нити заданного диаметра (рис.4): S (Speed) – 45, C (Corner speed) – 20, P (Power) – 50. Глубина канала – 1,5 мм.

Рис. 4. Силиконовая нить, проложенная в канал

При этом внутренняя поверхность полученных каналов становится поверхностью связующего контакта для закрепления термопроводящей нити (пластичное бесклеевое закрепление).

5 Принципиальное конструктивное решение теплозащитного чехла для смартфона

Терморегулируемый чехол состоит из двух слоев натуральной кожи 1,2, соединенных по периметру с сохранением отверстий для подключения наушников 3 и зарядного устройства 4, пластиковый прозрачный экран 5, защищающий от осадков встроеный в чехол, щель для вкладывания телефона располагается по линии сгиба 6. Со стороны крышки между слоями кожи располагается аккумулятор 7, теплопоглощающий материал 8. Со стороны крышки чехла термопроводящие полимерные нити 9 располагаются на внутреннем слое натуральной кожи 2, со стороны крепления телефона – с наружной стороны 1 (рис.5). В чехле установлено 4 датчика температуры с контроллером.

Рис. 5. Принципиальная схема конструкции теплозащитного чехла

Кроме этого в чехле предусмотрено 4 датчика температуры с контроллером.

6 Патентное исследование

Разработанная конструкция защитного термочехла имеет ряд преимуществ перед аналогами [8-10], что представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Исследование аналогов технического решений тепловой зашиты со встроенными системами терморегуляции

Наименование	Указатель	Преимущества разработки по сравнению с аналогом
Защитный корпус для электронного устройства	US 20100124040 A1, H05K5/00, H05K9/00, H05K13/00, 16.10.2009	Разработанная конструкция предусматривает дополнительный защитный прозрачный экран и учитывает условия эксплуатации, а именно влияние пониженных температур на работу электронного устройства
Чехол для мобильного телефона	RU50087U1, A45C 11/24	Конструкция не предполагает извлечение телефона перед использованием, т.е препятствует отрицательному воздействию на него неблагоприятных природных условий (дождь, снег). Также предусмотрен дополнительный вход для удобства подключения зарядного устройства и наушников
Чехлы для защиты пользователя радиотелефонов от микроволнового излучения	US 5336896 A, H05K 9/00, US 5438333A, H01Q 17/00	Учтены условия эксплуатации средств связи
Конструкция защитного чехла для смартфона	US20120244920 A1, 455/575.8, H04W88/02	Конструкция выполняет теплозащитные функции и имеет дополнительный защитный экран
Стелька с подогревом	RU102465, A43B	Конструкция выполняет теплозащитные функции для поддержания оптимальной температуры электронного устройства
Перчатки с подогревом	US5620621B, A41D19/01535	Конструкция выполняет теплозащитные функции для поддержания оптимальной температуры электронного устройства

Также в результате патентного исследования были выявлены тенденции развития защитных устройствах для средств связи, а именно защита средств связи от механического воздействия и защита человека от воздействия средств связи. Точных аналогов в ходе патентного поиска не выявлено.

Заключение

В результате исследований разработаны элементы технологии встраивания термопроводящих нитей в структуру материала с одновременным термопластичным бесклеевым закреплением. Экспериментально установлены технические характеристики получения канала необходимой глубины для прокладывания силиконовой нити заданного диаметра.

Проведены сравнительные исследования термопроводящих нитей, которые показали более эффективный (по скорости) режим нагревания силиконовой нити, что свидетельствует о большем запасе тепла без дополнительных источников энергии.

Разработана принципиальная схема конструкции теплозащитного чехла.

Выявлены тенденции развития защитных устройствах для средств связи, а именно защита средств связи от механического воздействия и защита человека от воздействия средств связи. При этом непосредственные аналоги со встроенной системой теплопередачи через слой эластичного пористого материала защитной конструкции через полимерные нити не найдены.

Литература

1. The strategy of the All-Russian public organization "Russian geographical society". URL: http://www.rgo.ru/ru/obshchestvo/vnutrennie-dokumenty/strategiya (accessed date: 10.01.2016).
2. The effect of low temperatures on smartphones and phones. URL: http://samsungu.ru/nws/zx1_3035.php 2009-2015 (accessed date: 10.01.2016).
3. As smart phones suffer frost: facts and recommendations. URL: http://internetua.com/kak-smartfoni-perenosyat-moroz-fakti-i-rekomendacii (accessed date: 10.01.2016).
4. Which phones involved in the crash test for resistance to temperature? URL: http://www.genon.ru/GetAnswer.aspx?qid=b52e795e-f074-40f5-b408-225b9bf33d74 (accessed date: 10.01.2016).
5. Неопрен URL: http://neopren.su/index.php/component/k2/item/26-neoprene (дата обращения 15.01.2016).
6. Натуральный мех и кожа URL: http://www.cross-kpk.ru/ims/files/new/07-tech/%D1%F2%F0%E0%ED%E8%F6%FB/%D2%E5%EE%F0%E5%F2%E8%F7%E5%F1%EA%E8%E9%20%EC%E0%F2%E5%F0%E8%E0%EB8.html (дата обращения 15.01.2016).
7. Комплекты для изготовления одежды с подогревом URL: http://www.teplovichok.ru/files/fin_kompl.html (дата обращения 15.01.2016).
8. Information Retrieval System / FGBU Federal Institute of Industrial Property. URL: http://www1.fips.ru/wps/wcm/connect/content_ru/ru/inform_resources/inform_retrieval_system/ (accessed date: 15.01.2016).
9. Search for patents and inventions, registered in Russia and the USSR. URL: http://www.findpatent.ru/ (accessed date: 15.01.2016).
10. Federal Patent Office "GARDIUM" URL: http://www.legal-support.ru/ (accessed date: 15.01.2016).

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Тарновский Д.А.
Чувашский государственный университет им И.Н.Ульянова, г.Чебоксары, Россия.

TOPICAL QUESTIONS OF MATHEMATICAL MODELING

Tarnovskiy D.A.
Chuvash State University I.N.Ulyanova, Cheboksary, Russia.

Аннотация.
Предлагаемая вниманию работа относится к области математической логики, математического моделирования, а также тесным образом связана с вопросами философии математики. Структурно работа состоит из двух частей. В первой части нами рассматривается категория пространства, вводится система координат, предлагается взгляд на вопрос о соотношение нуля и бесконечности. Во второй части работы, на основе вводимой модели пространства, рассмотрены процессы в области электродинамики, физиологии, в частности сердечнососудистая система человека, описывается в контексте с элементами предложенного пространства. Предпринята попытка смоделировать процесс мышления, рассмотрены вопросы, относящиеся к физиологии головного мозга человека.

Abstract (Die Inhaltsangabe)
We offer our work relates to the field of mathematical logic, mathematical modeling, as well as closely related to issues of the philosophy of mathematics. Structural work consists of two parts. In the first part we consider the category of space, a coordinate system, offered a look at the question of the ratio of zero and infinity. In the second part, based on the input model of the space, considered processes in the field of electrodynamics, physiology, in particular the human cardiovascular system, described in the context of the proposed elements of the space. An attempt was made to model the thinking process, issues related to the physiology of the human brain.

В ходе исследования нами был рассмотрен ряд вопросов, в том числе и из области физиологии. Для формирования представления о характере рассматриваемых процессов приведем фрагмент из материалов работы.

Рассмотрим систему кровообращения человека (рис. 1).

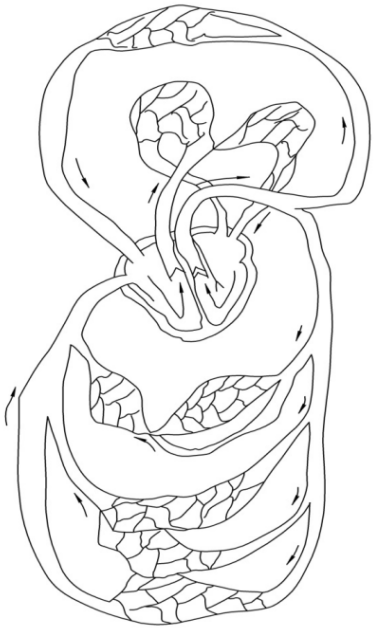


Рис. 1. Сердечно-сосудистая система человека

Кровь делится на венозную и артериальную, точно также как области пространства мы условно можем разделить на положительные и отрицательные.

Существует два круга кровообращения большой и малый.

Большой круг кровообращения начинается с того, что кровь из левого желудочка через аортный клапан вбрасывается в аорту, после чего происходит деление на артерии и многочисленные капилляры.

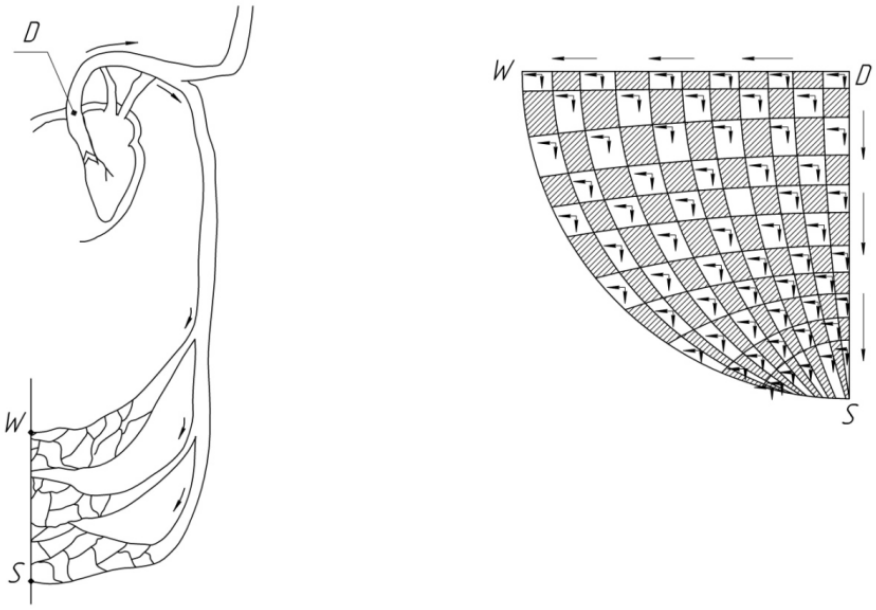


Рис. 2. Элементы системы кровообращения (а), Области *Sp* в аналогии с системой кровообращения (б)

Здесь мы можем аортный клапан связать с особой выталкивающей точкой D, а движение от аорты к капиллярам с числовым рядом направленным от минимума точки D к дуге SW. (рис. 3 а,б)

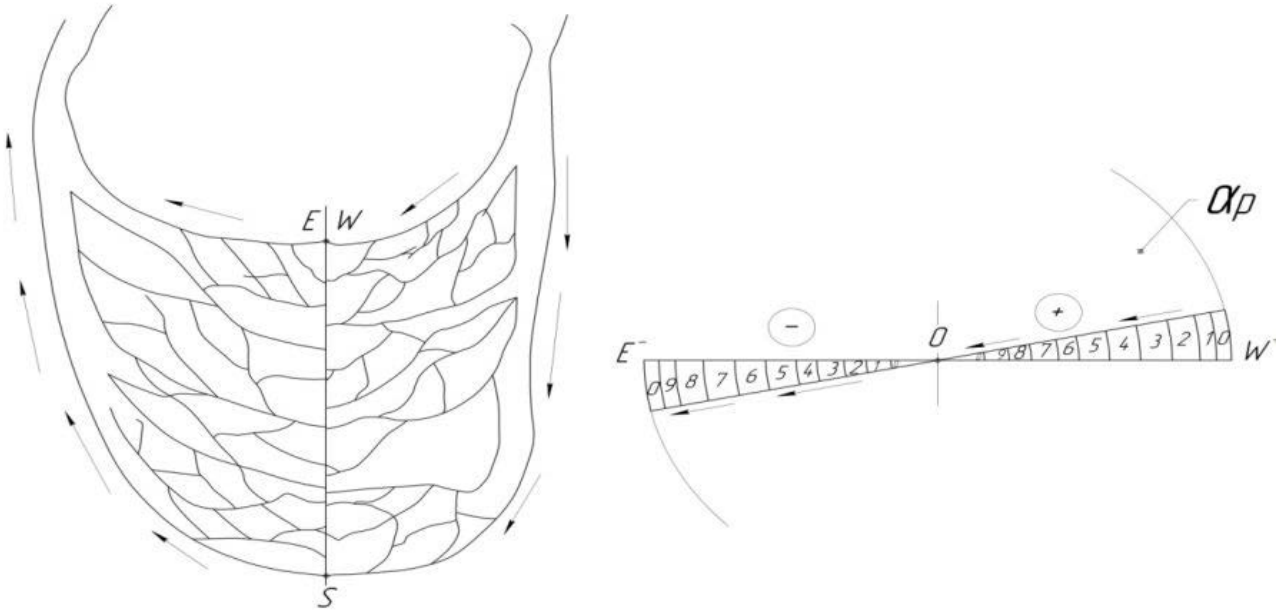


Рис. 3. Элементы системы кровообращения (а), Области *S* в аналогии с системой кровообращения (б)

Что происходит дальше? Кровь из капилляров формирует венулы и кровь из артериальной переходит в венозную. Этот переход мы свяжем с движением по оси Y от точки W к точке E и переходом через точку O, из положительных областей пространства в отрицательные. (рис. 4 а,б).

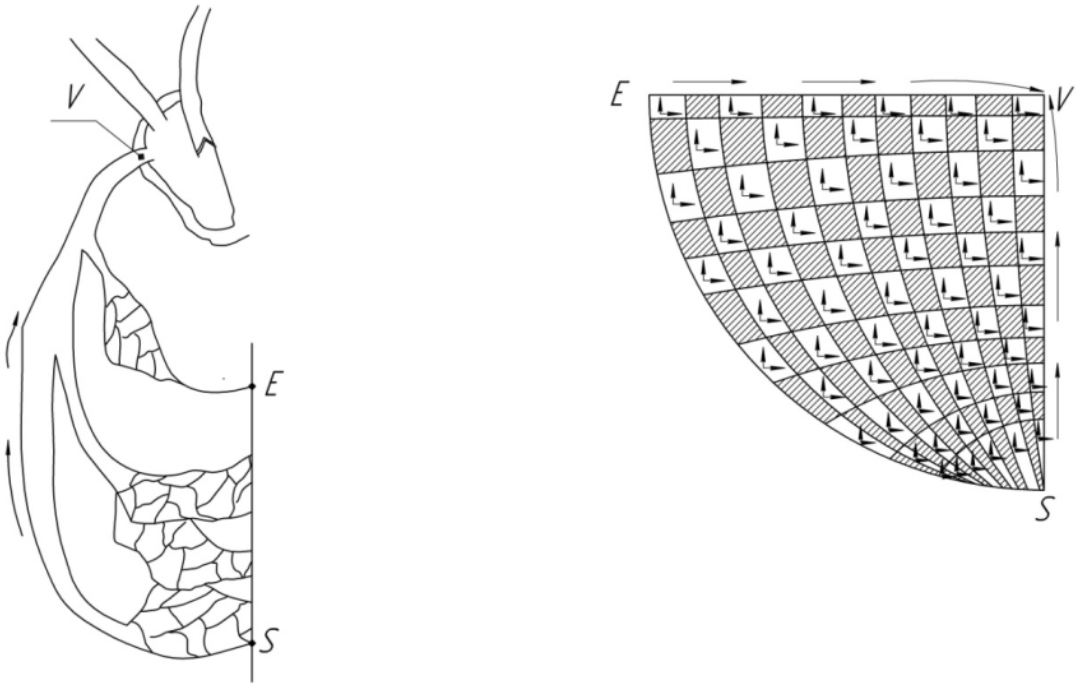


Рис. 4. Элементы системы кровообращения (а), области S_p^- в аналогии с системой кровообращения (б)

Затем венулы, собираются в вены несущие кровь обратно в сердце.

Данную фазу движения мы свяжем движением областей на Sp^- от дуги SE к особой втягивающей точке V (рис. 4 а,б).

Восточную часть прямой VO и области к ней прилегающие (элемент 4) (рис. 4б) мы отождествим с правым предсердием, а правый желудочек рассмотрим в аналогии с областями прилегающими к восточной части прямой OD (элемент 3, рис. 4б).

Здесь заканчивается большой и начинается малый круг кровообращения.

Аналогичным образом элементы малого круга кровообращения мы рассмотрим в аналогии с элементами модели S.

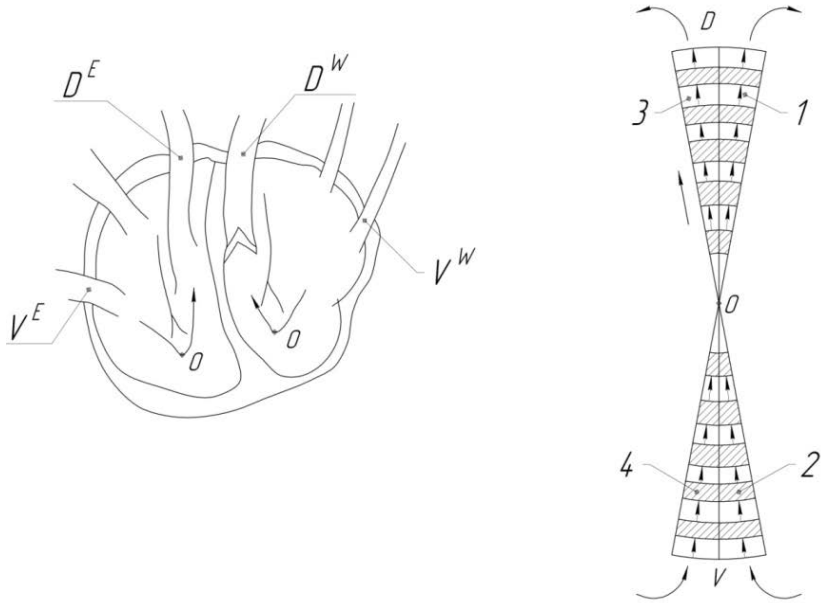


Рис. 5. Элементы системы кровообращения (а), области S_p^- в аналогии с системой кровообращения (б)

В свою очередь, области западной часть прямой VO мы свяжем с левым предсердием, (элемент 2), а левый желудочек рассмотрим а аналогии с областями западной части прямой OD (элемент 1) (рис. 5б).

Предсердно-желудочковые клапаны левого и правого предсердия мы свяжем с точкой O (рис. 5а).

Для нас здесь важно проследить аналогию системы кровообращения с векторной направленностью пространства S.

Литература

1. Л.С. Атанасян и др. Геометрия: Учеб для 10-11 кл, 9-е изд, с изм-и. Просвещение, 2000- 206 с.
2. Л.С. Атанасян, В.Т., В.Т. Базылев. Геометрия. Учеб пособие в 2 ч.
Ч 2 – М: Просвещение, 1987 г.
3. С.В. Бахвалов и др. Аналитическая геометрия. Учебник. Москва 1962 г.
4. И.М. Виноградов. Аналитическая геометрия – М: Наука 1986 г.
5. Гильберт Д., Кон-Фосен С. Наглядная геометрия – М: Наука, 1981 – 344 с.
6. В О. Гордон и др. Курс начертательной геометрии. Москва. Наука 1964 г.
7. С.В. Громов. Физика: Учеб для 10 кл – М: Просвещение, 2001 - 383 с.
8. В.А.Касьянов. Физика: Учебник для 10 кл – М: Дрофа, 2004 г – 416 с.
9. Элементарный учебник физики: Учебное пособие в 3-х т/ Под ред Г.С. Ландсберга. Т-2. Электричество и магнетизм – М. Наука – 480 с.
10. А.Ф. Лихин. Концепции современного естествознания: Учебник – М. проспект 2004 – 264 с.
11. Л.Б. Милковская. Повторим физику. Учебное пособие. М. Высшая школа, 1970. 608 с.
12. Немов Р.С. Психология Учебник в 3 кн. Кн 1: Общие основы психологии – М, Виодос. 2003 г.
13. Анатомия человека 9-е издание Под ред М.Г. Привеса. Москва, Медицина 1985 г. – 672 с.
14. Чижов Е.Б. Пространства – М. Новый центр, 2001 – 278 с.

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ СКОРИНГА

Валиуллин А.М.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Волосатова Т.М.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра РК-6, Москва, Россия

SCORING PROBLEMS

Valiullin A.M.
Supervisor: Ph.D., Associate Professor Volosatova T.M.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье обзорно рассматриваются различные задачи скоринга, приводится их классификация и постановки. Задачи скоринга являются задачами классификации машинного обучения. Модель обучения строится по принципу «обучение с учителем», где данные берутся из исторических данных. В заключении приведены плюсы и минусы этих скоринговых моделей.

Abstract
This paper introduces various scoring problems, their classification and definitions of these problems. The scoring problem is a classification problem of machine learnin. Learning model based on the principle of learning with a teacher. The data for training is taken history records. In the conclusion there are pros and cons of these scoring models.

Введение

Скоринг (score (англ.) – счет, количество очков, подсчет, вычисление) – модель классификации клиентов на различные группы, если неизвестны характеристики, по которым разделяются группы, но известны какие-либо другие факторы, которые связаны с интересующей нас характеристикой.

В основе систем скоринга лежит предположение, что люди с близкими социальными показателями ведут себя примерно одинаково. Принимая такой постулат, можно построить различные предсказательные и статистические модели полезные при ведении любого бизнеса.

1 Классификация задач

Все методы кредитного скоринга в зависимости от применяемого математического метода можно разделить на два основных класса:

- экспертные;
- статистические.

Такое разделение основано на том, используется или нет для построения скоринговой оценки предварительно накопленная статистическая информация о клиентах. Если такая информация не используется, то система относится к классу дедуктивных, а оценка кредитоспособности строится на экспертном опыте.

Если статистическая информация используется, то система относится к классу эмпирических, а оценка строится на базе математической модели, содержащей все линейные и нелинейные закономерности, которые можно обнаружить в исходных данных.

В зависимости от области применения модели и типа исходных данных заемщика (клиента) возникают несколько видов задач в скоринге [1]:

1) Оценка кредитоспособности клиента (application);
2) Выявление мошенничества (fraud);
3) Взыскание проблемной задолженности (collection);

4) Поведенческий скоринг (behavioral).

Для каждого вида задач существуют, устоявшиеся и уже показавшие хорошую точность предсказания, методы построения моделей.

2 Оценка кредитоспособности клиента (application scoring)

Задача оценки кредитоспособности клиента является одной из самых распространенных задач скоринга [2]. Направлена на определение социально-экономического положения клиента и принятие решения по выдаче кредита.

На выходе модели обычно получают либо две категории клиентов («хороший» и «плохой»), либо вероятность возврата кредита (p). Постановка задачи для случая двух категорий клиентов представлена ниже:

Имеются исходные данные – выборка $D = \{(x_1, y_1),\ ...,\ (x_i, y_i),\ ...,\ (x_m, y_m)\}$,

$x_i \in \mathbb{R}^n$, $y_i \in \{1, 0\}$ (возврат - невозврат кредита). Далее для удобства введем множество индексов объектов: $i \in I = \{1,\ ...,\ m\}$. Векторы признаков $X \in \mathbb{R}^{m \times n}$, $X = (x_1, ..., x_i, ..., x_m)$. Для признаков также удобно ввести множество индексов: $J = \{1,\ ...,\ n\}$. Аналогично матрице признаков введем вектор ответов $y = (y_1,\ ...,\ y_i,\ ...,\ y_m)^T$.

Задана функция потерь $L\left(\alpha\left(x\right), y\right)$ в виде матрицы штрафов

$$L\left(\alpha\left(x_i\right), y_i\right) = \begin{cases} 0, & если\ \alpha(x_i) = y_i \\ 1, & если\ \alpha(x_i) \neq y_i \end{cases} \qquad (1)$$

Требуется построить алгоритм классификации $\alpha : X \to \left\{0,1\right\}$, который доставляет минимум функционалу качества

$$Q\left(\alpha, X\right) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} L\left(\alpha\left(x_i\right), y_i\right) \qquad (2)$$

Основная информация, используемая для построения модели:

- Демографические показатели: возраст, пол, семейное положение, занятость на работе, стаж работы, наличие водительского удостоверения и др.
- Данные по запрашиваемому кредиту: сумма запрашиваемого кредита, срок кредита.
- Различные финансовые показатели платежеспособности: доход, задолженность, имущество.

Данные разделяются на два вида: непрерывные (возраст, стаж работы, сумма) и категориальные (пол, семейный статус). При построении модели нередко непрерывные данные делятся на несколько категорий.

Кроме того, системы оценки кредитоспособности взаимодействуют с программами поведенческого скоринга, анализирующими финансовые действия заемщиков, а также с системами выявления мошеннических действий, которые призваны предотвращать прямое мошенничество.

3 Выявление мошенничества (fraud scoring)

Автоматическое построение шаблонов «нормального» поведения клиентов и анализ выбросов, позволяет выявлять случаи мошенничества и проводить различные мероприятия, снижающие или исключающие потери. Основная задача сводится к поиску выбросов [2].

Постановка задачи выглядит следующим образом:

Дана выборка из хороших объектов P и неразмеченная выборка U, причем

$$U = Q \cup N \tag{3}$$

Q образуют хорошие объекты, а N — выбросы. Мощности Q и N неизвестны.

Требуется построить алгоритм по выборкам P и U, способный классифицировать объекты на хорошие и на выбросы.

Fraud-скоринг может представлять собой совокупность множества процедур, которые позволяют отсечь мошеннические действия (проверка по «черным» спискам, скоринг на близость к «идеальному» заемщику и др.).

4 Взыскание проблемной задолженности (collection scoring)

С ростом клиентской базы и объемов оказываемых услуг, кредитные организации рано или поздно сталкиваются с необходимостью сбора просроченной задолженности. Долги могут появляться как на счетах клиентов, так и у контрагентов, поставщиков, партнеров. Эффективность бизнес-процессов по управлению дебиторской задолженностью во многом влияет на финансовую стабильности компании, а также на уровень текущих и возможных рисков.

Скоринговые модели для решений по возврату задолженосте — скоринг-модели позволяющие решить вопрос о том, когда должны быть приняты меры в отношении неплательщиков, и какие из нескольких альтернативных наборов методов могут быть наиболее подходящими и успешными. Появляется задача выбора оптимальных методов возврата задоженности для минимизации числа должников или максимизации количества возвращенных кредитов.

Collection scoring модели учитывают, как минимум, следующие факторы:

- Демографические данные;
- Предполагаемый или достоверно известный уровень доходов и расходов, имущественное положение;
- Наличие надежных контактных и идентификационных данных (ФИО, паспортные данные и др.);
- История взаимодействия;
- История поведения, использования услуг, начислений, штрафов и т.д.;
- Планируемое коллекторское воздействие.

5 Поведенческий скоринг (behavioral scoring)

Поведенческий скоринг – это динамическая оценка состояния кредитоспособности существующего заемщика, основанная на данных об истории операций по его счетам (график погашения задолженности, запросы новых кредитов, оборот по текущим счетам, и т.п.). Также может производиться анализ состояния счета клиента. Используются вероятностные модели, позволяющие дать прогноз на изменения в платежеспособности клиента. На рис. 1 показана взаимосвязь различных задач скоринга.

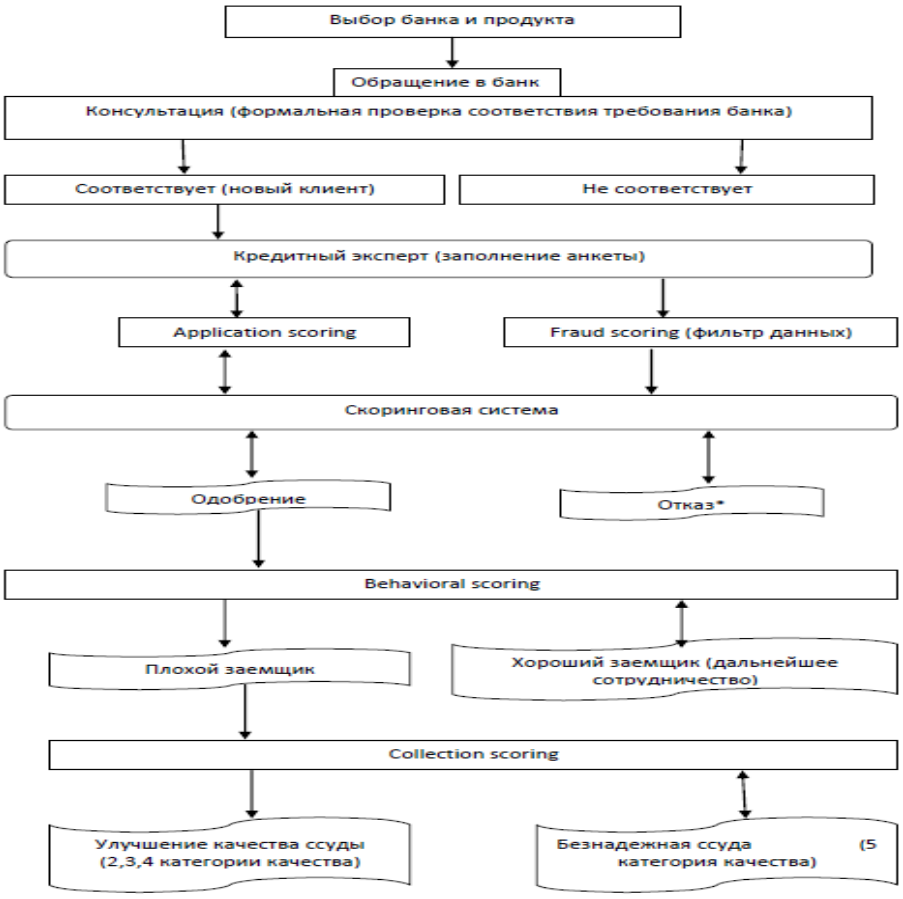


Рис. 1. Взаимосвязь задач скоринга

Результатом поведенческого скоринга обычно является предложение банка воспользоваться иными банковскими услугами: кредитная карта, кредит наличными по сниженной процентной ставке, автокредитование и др. Одобрение последующих кредитов в банке для заемщика – это также результат успешного преодоления поведенческого скоринга

Заключение

В работе подробно описаны различные задачи скоринга, их классификация, приведены постановки задач. Скоринговые системы позволяют оперативно принимать решения организацией. Минусом систем скоринга является то, что оценка рассчитывается на основании информации об исторических фактах кредитования, тогда как данные о клиентах, которым было отказано, не попадают в обучающую выборку, на основе которой строится система скоринга. Также скоринговые модели требуют большой исторической статистической базы и постоянного обновления данных, ввиду обновления экономико-социальных факторов.

Литература

1. Xiao-Lin Li, Yu Zhong An Overview of Personal Credit Scoring: Techniques and Future Work, International Journal of Intelligence Science, 2012, 2, 181-189
2. Rimmer, J, Contemporary changes in credit scoring, Credit Control, Vol. 26 No. 4, pp. 56-60, 2005
3. Chan P. K., Stolfo S. J. Toward Scalable Learning with Nonuniform Class and Cost Distributions: A Case Study in Credit Card Fraud Detection // KDD Conference, pp. 164–168, 1998

АНАЛИЗ МЕТОДА ЭХО-КОДИРОВАНИЯДЛЯ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ

Воронина П.А.
Научный руководитель: к.т.н., доцент, Волосатова Т.М.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра РК6, Москва, Россия

METHOD OF ECHO-CODING ANALYSIS FORDATA PROTECTION

Voronina P.A.
Supervisor: Dr., Prof., Volosatova T.M.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье рассматривается анализ метода эхо-кодирования в качестве основы программного средства для защиты данных. Подробно исследован алгоритм метода. Кратко представлена информация о стеганографии. В экспериментальной части представлены рекомендации по выбору параметров эха.

Abstract
The article deals with echo-coding method analysis as a base of data protection software. Algorithm of method is described in detail. Informationabouttheesteganographyisprovidedbriefly.Recommendations for the choice of echo parameters are presented in the experimental part.

Введение

Проблема обеспечения информационной безопасности всегда удостаивалась особого внимания. Шифрование данных не скрывает факта передачи данных, а стеганография, в свою очередь, позволяет решить данную проблему.

Стеганография — это искусство и наука о способах передачи (хранения) скрытых сообщений, при которых скрытый канал организуется на базе и внутри открытого канала с использованием особенностей восприятия информации. Основными стеганографическими понятиями являются сообщение и контейнер. *Контейнером* называют несекретные данные, которые используют для сокрытия сообщений (в рамках работы - цифровой звук).*Сообщением* называется секретная информация, наличие которой в контейнере необходимо скрыть (в рамках работы - текстовый файл).

В источнике [1] подробно описываются особенности стеганографии, в том числе и широкий спектр методов, используемых для сокрытия. В работе рассматривается алгоритм, основанный на особенностях звуковых файлов.

Аудиофайл- компьютерный файл, состоящий из информации об амплитуде и частоте цифрового звука.

Метод эхо-кодирования использует неравномерные промежутки между эхо-сигналами. Эхо характеризуется тремя параметрами:

- *начальная амплитуда* - амплитуда звукового сигнала в начальный момент времени;
- *время спада* - период ослабления сигнала после начального нарастания;
- *сдвиг* - время задержки между исходным сигналом и его эхо.

Целью работы является анализ метода эхо-кодирования.

Основная задача работы заключается в разработке программной реализации эхо-метода для последующего выбора оптимальных значений параметров, характеризующих эхо при кодировании. В источнике [2] рассматривается реализация алгоритма в среде Mathcad, не имеющая интерфейса, и нуждающаяся в загрузке и установке дополнительных утилит. В ходе работы разработано программное средство защиты данных в среде MATLAB, имеющее дружественный интерфейс и не требующее вспомогательных утилит и библиотек.

На основе работы можно сделать выводы о том, что эхо-метод является простым в использовании и реализации, но недостаточно эффективным для больших объемов информации.

1 Разработка программного средства для защиты данных в САПР. Эхо-метод

1.1 Основные положения метода эхо-кодирования

Эхо характеризуется тремя параметрами: начальной амплитудой, временем спада, сдвигом. При достижении некоего порога между сигналом и эхом они смешиваются. В этой точке человек не может отличить эти два сигнала. Используются две различные задержки при кодировании нуля - δ_0 и единицы - δ_1. Задержка между исходным сигналом и его эхо зависит от внедряемых в данный момент данных. Обе эти задержки должны быть меньше, чем порог чувствительности уха слушателя к получаемому эху.

Для того чтобы закодировать более одного бита, исходный сигнал разделяется на маленькие участки. Каждый участок рассматривается как отдельный сигнал, и в него внедряется один бит информации. Результирующий закодированный сигнал представляет собой комбинацию отдельных участков.

Создается эхо-сигнал для единицы (исходный сигнал, сдвинутый на δ_1), эхо-сигнал для нуля (исходный сигнал, сдвинутый на δ_0) и два переключающих сигнала – нулевой и единичный. Каждый из переключающих сигналов представляет собой бинарную последовательность, состояние которой зависит от того, какой бит должен быть внедрен в данный участок звукового сигнала. Для сглаживания переходов к переключающим сигналам применяется трапецеидальная форма.

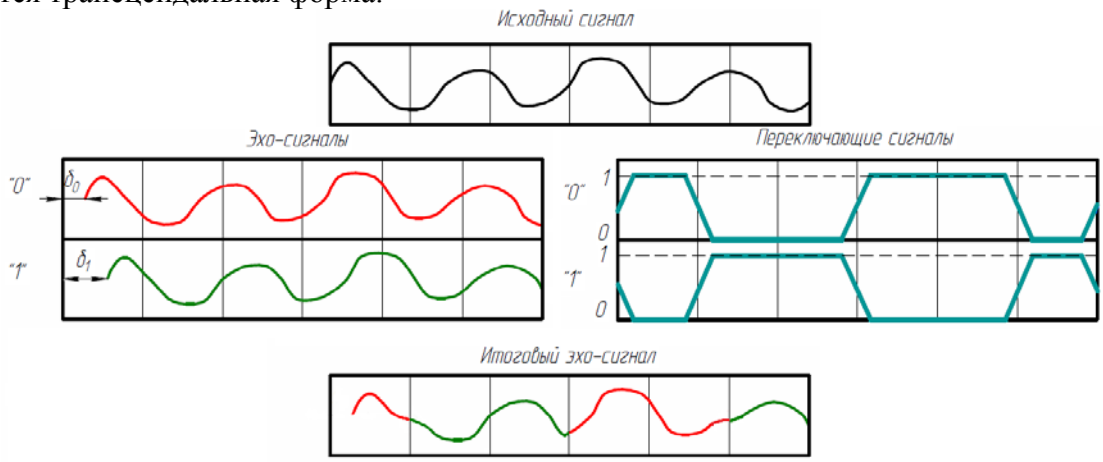


Рис. 1. Схематичное изображение эхо-сигналов и переключающих сигналов

Далее вычисляется произведение нулевого эхо-сигнала сигнала и переключающего сигнала для нуля.Аналогичные действия производятся и для единичного сигнала. Для получения итогового эхо-сигнала произведения суммируются между собой. После этогосумма умножается на коэффициент уменьшения амплитуды эхо-сигнала (далее *коэффициент уменьшения*). Это делается для того, чтобы внесенные изменения не были заметны для человеческого уха.При формировании закодированного сигнала итоговый эхо-сигнал накладывается на исходный сигнал.

1.2 Декодирование

Для декодирования информации нам необходим ключ: значения задержек (δ_0, δ_1) и количества передаваемых бит (количество участков, на которые разбит сигнал). Способ передачи ключа выбирается программистом.

Декодирование внедренной информации представляет собой определение промежутка времени между сигналом и эхо. Для этого необходимо на каждом участке рассмотреть амплитуду (в двух точках) автокорреляционной функции дискретного косинусного преобразования логарифма спектра мощности (*кепстра*).

Автокорреляционная функция - статистическая взаимосвязь между случайными величинами из одного и того же ряда, но взятых со сдвигом относительно друг друга.

Рассмотрим участок, на котором закодирован нуль. Всплеск автокорреляционной функции будет иметь место через δ_0 после исходного сигнала. Для единицы, соответственно, всплеск наблюдается черезδ_1.

Данные действия надо произвести для всех участков сигнала. В результате мы получим совокупность бит, кодирующих передаваемое сообщение. Но не стоит забывать о погрешностях, из-за которых может наблюдаться не полное совпадение информации.

2 Вычислительный эксперимент

Результатом проведенной работы служит приложение, способное кодировать и декодировать информацию, используя алгоритм эхо-метода. Используемой вычислительно системой является MATLABR2015a.

В ходе эксперимента проверялась эффективность метода, а также осуществлялся поиск оптимального сочетания значения задержек (δ_0, δ_1) и оптимального значения коэффициента уменьшения (см. п. 1.1). Для этого с помощью разработанного ПО производилось кодирование и декодирование сообщения с дальнейшим сравнением исходного сообщения с декодированным.

Формат файла-сообщения -txt, размер от 7 символов (56 бит) до 56 символов (3136 бит).

Формат файла контейнера - wav, ширина потока данных 16 бит, длительность: Файл 1 -00:02:05, Файл 2 -00:05:11.

Параметры эхо:

Значения будут считаться недопустимыми в случае, если изменения аудиофайла заметны слуху человека. Также необходимо учитывать соизмеримость относительно размера части контейнера, выделенной для кодирования одного бита.

Задержка для нуля δ_0: от 20 до 200;

Задержка для единицы δ_1: от 30до 300;

Коэффициент уменьшения α: от 0.4 до 0.7

При увеличении коэффициента уменьшения можно и нужно уменьшать значения задержек. Аналогично и при увеличении задержек необходимо уменьшать коэффициент. Это делается для снижения риска улавливания изменений человеческим ухом. Если сделать минимальными и задержки, и коэффициент, то передача данных будет затруднительна.

Также стоит заметить, что один символ кодируется 8 битами, так что если хоть в 1 бите была ошибка, то символ будет неверен. Если бы в качестве сообщения использовалась черно-белая картинка, где черный пиксель 1, а белый – 0, то эффективность метода значительно повысилась.

Успешность передачи рассчитывается как процент верно переданных символов.

Таблица 1

Размер передаваемого сообщения	δ_0	δ_1	α	Успешность передачи	Неверных символов
Файл 1					
7 символов	20	30	0.5	100%	0
	80	130	0.4	100%	0
	200	300	0.3	100%	0
14 символов	20	30	0.5	85.71%	2
	80	130	0.4	100%	0
	200	300	0.3	92.86%	1
28 символов	20	30	0.5	78.57%	6
	80	130	0.5	92.86%	2
	130	180	0.3	96.43%	1
Файл 2					
28 символов	20	30	0.5	98.43%	1
	80	130	0.4	100%	0
	200	300	0.3	92.86%	2
	200	300	0.5	100%	0
56 символов	20	30	0.5	91.07%	5
	80	130	0.4	98.21%	1
	80	130	0.5	100%	0
	200	300	0.5	96.43%	2

Дальнейшее увеличение файла-сообщения приводит к соответствующему увеличению файла-контейнера.

Подведем итоги для проделанного эксперимента. Главными параметрами для выбора значений сдвигов эхо-сигналов являются степень выявляемости изменения аудиофайла системой слуха человека и успешность передачи. В результате эксперимента получено, что достаточными для кодирования являются значения сдвигов, равные $\delta_0 = 80$, $\delta_1 = 130$. Вносимые ими изменения неуловимы ухом.

Аналогично и для коэффициента уменьшения амплитуды, оптимальным значением для него является $\alpha = 0.5$.

Пропускная способность метода зависит от ширины потока данных. Для файла 1 и файла 2 это 16 бит в секунду. Но, как видно из эксперимента, чтобы быть точно уверенным в том, что сообщение будет декодировано верно, необходимо рассчитывать на пропускную способность 16 символов (128 бит) в минуту.

Заключение

Основное достоинство стеганографии перед шифрованием – сокрытие факта передачи сообщения. Этот же фактор является и основной сложностью при реализации.

Среди методов компьютерной стеганографии выделяется класс, использующий избыточность аудио и визуальной информации, в их числе метод эхо-кодирования. Одним из преимуществ этого класса является возможность защиты авторского права.

В результате работы реализовано средство для защиты данных, основывающееся на эхо-методе. С помощью этого приложения были подобраны оптимальные параметры использования метода. Разработанное ПО применимо для кодирования небольших сообщений, требующих высокой точности и для крупных сообщений, смысл которых может быть сохранен при внесении незначительных искажений.

Литература

1. Чичварин Н.В. Стеганография и стегоанализ - М.:МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. 90 с.
2. Пузыренко А.Ю. Компьютерная стеганография. - Киев: МК-Пресс, 2006. 288 с.
3. Волосатова Т.М., Денисов А.В., Чичварин Н.В. Комбинированные методы защиты данных в САПР. Информационные технологии, Приложение №5. - Изд-во Новые технологии, 2012 – 32 с.
4. Сокрытие данных методами стеганографии [Электронный ресурс]. (*http://gir.openrise.org*/Сокрытие_данных_методами_стеганографии)

АНАЛИЗ ТОПОЛОГИЙ И АРХИТЕКТУР БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

Юлдашев М.Н.
Научный руководитель: доц., канд. техн. наук Власов А.И.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

ANALYSIS OF TOPOLOGIES AND ARCHITECTURES OF WIRELESS SENSOR NETWORKS

Yuldashev M.N.
Supervisor: Ph.D., Doc.VlasovA.I.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье представлен обзор топологий и архитектур, которые представлены в области беспроводных сенсорных сетей. Особое внимание уделено таким характеристикам сети, как масштабируемость, гибкость, самоорганизация, контроль качества. Анализ архитектуры представлен в разрезе эволюции, тем самым подчеркиваются основные цели, которые преследовали сенсорные сети на каждом этапе своего развития, какие при этом проблемы решались.

Abstract
The article provides an overview of the topologies and architectures that are presented in the field of wireless sensor networks. Particular attention is paid to such characteristics of the network as scalability, flexibility, self-organization, quality control. The analysis of the architecture is presented in the context of evolution, thereby emphasizing the main goals that sensor networks pursued at each stage of their development, what problems were solved.

Введение

В настоящее время беспроводные сенсорные сети (БСС) стремительно развиваются за счет достижений в смежных областях, таких как микроэлектроника, телекоммуникационные и информационные технологии. Также развитию БСС способствует быстрый рост примененийданной технологии за счет ее низкой стоимости, простоты внедрения, широким кругом решаемых задач. Применение БСС в новых областях жизнедеятельности человека порождает ранее неизвестные технический проблемы, для решения которых непрерывно появляются новые научные работы. Данные работы выполняются при участии ученых со всего мира, а также ведущих инженеровиз высокотехнологических компаний [1].

Развитие в области чувствительных элементовпозволяет создавать новые типы сенсоров, которыедают возможностью контролировать все больше параметров внешней окружающей среды и контролируемого объекта. Однако увеличение объема обрабатываемой информациинегативно сказывается на производительности и энергоэффективности БСС, поэтому важной задачей является определение наилучшей топологии и архитектуры БСС.

В БСС датчик – это устройство, которое предназначено для сбора информации о параметрах окружающей среды или контролируемом объекте. Полученная информацияпреобразовывается в цифровое представление, чтобы она могла быть обработана при помощи вычислительной техники. В качестве параметров окружающей среды может быть температура, давление, свет, звук, движение, положение объекта, поток, влажность, излучение и прочее [2].

Сенсорная сеть – это структура, состоящая из сенсоров, расположенных в контролируемый зоне с целью наблюдения и реагирования на определенные события или

состояния. События могут быть связаны с физическим миром, производственной средой, биологической системой или инфраструктурой информационных технологий.

1 Характеристики беспроводной сенсорной сети

БСС состоит из большого количества автономных сенсоров, которыевзаимодействуют по беспроводному каналу связи.Зона, в рамках которой функционируют сенсоры, называется зоной покрытия сети. Контролируемый объект должен находится в границах зоны покрытия сети. Вся информация с сенсоров сети поступает на базовую станцию, где обрабатывается и хранится. Пользователи БСС могут получить доступ к данным БСС через сеть Интернет (см. рисунок 1).

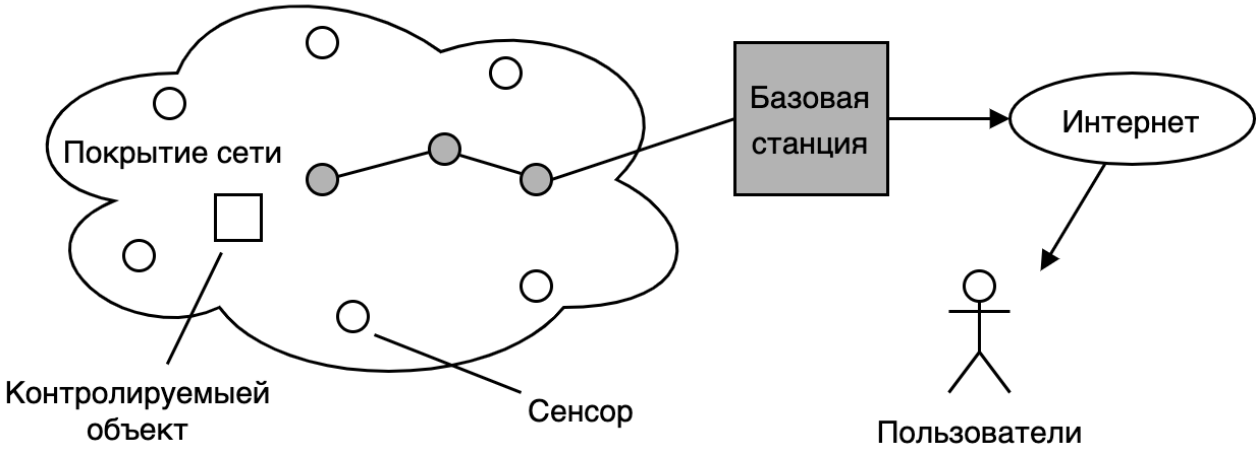


Рис. 1. Структура беспроводной сенсорной сети

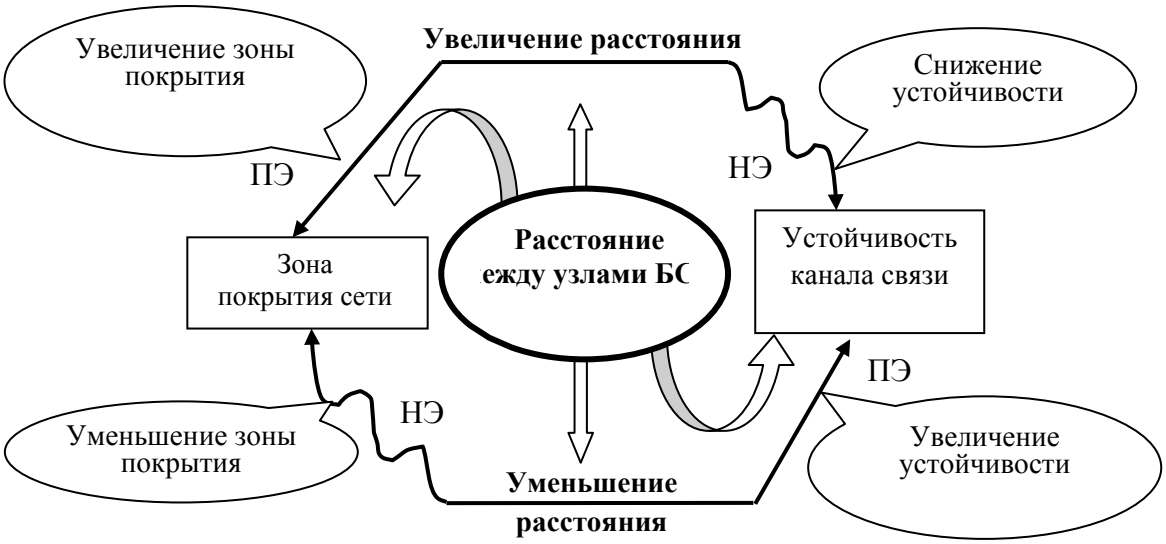
Вобщем случае БСС не имеет стандартизированной структуры, и ее реализация может отличаться в зависимости от требований к сети, поэтому архитектура сети определяется на этапе проектирования сети. Задача проектирования БСС не тривиальная из-за множестванакладываемых ограничений, таких как:

- ограниченные энергоресурсы,
- канал связи и зона покрытия сети,
- требования по развертыванию.

*Ограниченный энергоресурс*связан с автономным источником питания, расположенным в составе сенсора. Энергия источника питания расходуется на питание датчиков, обработку информации и ее передачу по беспроводному каналу связи. В некоторых случаях, когда это возможно, сенсор может пополнять электроэнергию за счет энергии внешней среды: механической, электромагнитной или солнечной. Однако элементы преобразования внешней энергии в электроэнергию имеет высокую стоимость и не всегда оправданы в использовании.

Канал связи и зона покрытия сети по большей степени определяют принципы построения топологии сети. Беспроводная связь подвержена внешним помехам, которые могут быть причиной ухудшения распространяемого сигнала. Таким образом важно расположить элементы БСС как можно ближе, чтобы обеспечить надежный канал связи. С другой стороны, необходимо обеспечить требуемую зону покрытия при минимальном количестве сенсоров. В результате имеем техническое противоречие, параметром которого является расстояние между сенсорами: чем меньше расстояние между сенсорами, тем надежнее канал связи, но меньше зона покрытия сети, чем выше расстояния между сенсорами – снижается надежность канала связи, но увеличивается зона покрытия БСС. Данное техническое противоречие представлено на рисунке 2.

Требования по развертыванию содержат методику самоорганизации сети, поскольку расположение сенсоров может быть хаотичным, не иметь четкой структуры. Например, один из способов развертывания сети – сброс датчиков с самолета на контролируемую территорию.



ПЭ – положительный эффект, положительное влияние;

НЭ – нежелательный эффект, нежелательное влияние.

Рис. 2. Техническое противоречие при выборе расстояние между узлами БСС

Несмотря на различные требования к БСС, присутствует ряд характеристик, которые должны быть учтены при проектировании и разработке сети. Более подробное их описание представлено в таблице 1 [3].

2 Топология и архитектура беспроводной сенсорной сети

Поскольку БСС является сетью, направленной на использование во внешних системах, то эволюция развития архитектуры БСС во многом зависела от предъявляемых требований. Далее рассмотрим несколько этапов развития БСС.

На первом этапе выделялась двухуровневая архитектура, предполагающая наличие одного канала связи, кластеров и координаторов в них. Недостатком данной архитектуры являлась неустойчивость к расширению зоны покрытия сети. На втором этапе начали использовать трехуровневые архитектуры, которые содержали несколько каналов связи – для коротких и дальних дистанций. Далее последовали многоуровневые архитектуры, где каждый уровень был ответственнымза передачу данных в рамках конкретного кластера.

На текущий момент основной топологией в БСС является *ячеистая*, где все узлы сети обладают функцией маршрутизации. Возможности самовосстановления сети ячеистой топологии в случае выхода из строя некоторых узлов сети позволяют достаточно быстро формировать сеть с новой конфигурацией.

Второй по популярности топологией является *кластерная* или *«дерево»*. Данная топология позволяет объединять сенсоры в кластеры и выполнять предварительные вычисления на главном узле кластера. Недостатком данной топологии являются

повышенные технические требования к главных узлам кластера, поскольку через них выполняется большая часть маршрутизации [4].

Основной архитектурой в БСС является модель OSI. Как правило, из данной модели используется 5 слоев: физический, канальный, сетевой, транспортный и уровень приложения. Также есть дополнительных 3 менеджера в БСС: менеджер энергопотребления, менеджер самоорганизации и планировщик.

Таблица 1 – Характеристики беспроводной сенсорной сети

Характеристика БСС	**Описание характеристики**
Масштабируемость	Возможность значительного увеличения состава БСС без ухудшения производительности сети.
Гибкость	Возможность сети удовлетворять новым функциональным требованиям без существенного изменения архитектуры сети
Динамическая самоорганизация сети	Поскольку топология БСС может постоянно менять из-за передвижения сенсоров, их удаления из-за неисправности или добавления новых узлов, то необходимо, чтобы БСС была способно постоянно поддерживать связь между элементами сети.
Интеграция во внешнюю систему	БСС не может существовать сама по себе, она должна быть развернута на какой-то территории, а результат ее функционирования необходимо передавать в другие системы, например, в сеть Интернет. Поэтому важно, чтобы БСС имела стандартные интерфейсы взаимодействия с внешними системами.
Качество обслуживания	В БСС параметры качества пересекаются с характеристиками сети или программного обеспечения: скорость передачи данных, корректность данных, надежность доставки данных, пропускная способность.
Неоднородность	Поскольку БСС имеют разные требования, и он могут изменяться, важно реализовать поддержку неоднородности. Достигается это за счет создания интерфейсов взаимодействия.

Менеджер электропотребления следит за потреблением узлов сети и оставшейся электроэнергии. Менеджер самоорганизации контролирует идентификаторы узлов сети и содержит информацию о связанности сети. Планировщик является ответственным за расписание отправки информации для каждого кластера сети.

Уровень приложения необходим для контроля трафика, а также отвечает за трансяормацию данных в разные форматы. Транспортный уровень отвечает за надежную и быструю доставку пакетов с данными, используя для этого стандартные протоколы. Сетевой уровень необходим, что обеспечить маршрутизацию данных между узлами сети. Канальный уровень позволяет разделить данные на пакеты, организовывать поток данных, проверять консистентность данных [5].

Заключение

Беспроводные сенсорные сети продолжают развиваться, концепция их построения окончательно не сформировалась и не выразилась в стандартизированныетопологии и архитектуры. Рассмотренные этапы развития архитектуры БССподчеркивают постоянный рост требований к БСС, поэтому можно совершенно точно сказать, что разработка новых принципов построения БСС, их топологии и архитектурыбудет продолжаться.

Рассмотренные характеристики беспроводных сенсорных сетей показывают, насколько они отличаются от стандартных сетей связи. Важно учитывать все аспекты при проектировании БСС, чтобы сеть была готова к изменениям функциональных требований. Таким образом, сеть должна удовлетворять таким характериситкам, как масштабируемость, гибкость, самоорганизация.

Литература

1. Зеленин А. Н., Власова В. А. Беспроводные сенсорные сети как часть инфокоммуникационной структуры. // Наукоемкие технологии в инфокоммуникациях: обработка и защита информации: коллективная монография/ под ред. В.М. Безрука, В.В. Баранника. – Харьков: Компания СМИТ, 2013. – С. 184-193.
2. Иваненко В.А. Информационные аспекты при разработке сенсорных сетей (Часть 1) [Текст]/В.А. Иваненко, А.Н. Зеленин// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – 3/4 (51). – С. 46-49.
3. Eric Becker, Yurong Xu, Steven Ledford, and FilliaMakedon. A wireless sensor network architecture and its application in an assistive environment / In Proceedings of the 1st international conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2008. Article 25, P. 1–7. DOI:10.1145/1389586.1389616
4. Yang S. H. Wireless sensor networks principles, design and applications / Springer-Verlag London, 2014. 293 p.
5. Иваненко В.А. Информационные аспекты при разработке сенсорных сетей (Часть 1) [Текст]/ В.А. Иваненко, А.Н. Зеленин// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – 3/4 (51). – с. 46-49.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ШАБЛОНАМ И КОНТРОЛЛЕРАМ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

М. Ю. Шаймарданов, Т. А. Соколова
Научный руководитель: к.т.н., доцент Н.В.Пивоварова*
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра РК9 (*РК6), Москва, Россия

FUNCTIONAL REQUIREMENTS TEMPLATES AND CONTROLLERS INFORMATION SYSTEM

M. Yu Shaimardanov, TA Sokolova
Supervisor: Ph.D., associate professor N.V.Pivovarova *
MSTU. Bauman, Department RK9 (* RK6), Moscow, Russia

Аннотация
В статье рассматриваются требования к процессу проектирования информационной системы в виде шаблонов и контроллеров. Для более ясного представления в работе кратко описаны архитектура клиент-сервер, системные *UML*-диаграммы последовательностей, принципы работы статических и динамических веб-страниц. При исследовании этой проблемы было замечено, что в отечественной и зарубежной литературе не рассматривается комплексный подход к процессу проектирования, поэтому данная работа может быть использована в качестве методического пособия при разработке информационной системы в рамках курсового проекта по курсу "Базы данных".

Abstract
This article discusses the requirements for the process of designing an information system in the form of templates and controllers. For a more clear idea of the work briefly describes client-server architecture, system UML-diagrams sequences principles of static and dynamic web pages. In the study of this problem it has been observed that in the domestic and foreign literature is not considered a comprehensive approach to the design process, so this work can be used as a methodological guide in the development of the information system within the framework of the course project for the course "Databases".

1 Архитектура клиент-сервер

Разработчики в области программирования работают над развитием приложений , включающих в себя архитектуру клиент-сервер на протяжении десятилетий. Специалисты разработали приложения, поддерживающие работу нескольких пользователей с одним источником данных в сети . Благодаря этому , архитектура клиент -сервер, стала очень распространена в использовании на компьютере или в информационной системе . Она предоставляет определенные требования клиенту и серверу. Вся бизнес-логика основывается на том, что у каждого пользователя установлен только браузер - так называемый тонкий клиент. Соответственно обязательно должен появиться веб-сервер, на котором должны храниться скрипты (управляющие программы), с помощью которых он взаимодействует с браузером.

Клиент (в нашем случае это браузер) обращается к веб-серверу (рис. 1). Ресурс должен быть реализован динамическим скриптом на языке *PHP*. Первое, по чему судит веб-сервер — это расширение файла в названии страницы (расширение *.html* используется для статических страниц, а *.php* — для динамических), либо файлы с различными расширениями распределяются по директориям.

2 Статические и динамические страницы

По поведению документа в браузере различают статические и динамические *HTML*-страницы. На статической странице с расширением *.html* представлена постоянная, неизменяемая информация. Такие страницы выглядят всегда одинаково, не зависимо

от поведения пользователя. Принципиальное отличие динамической веб-страницы (такая страница имеет расширение *.php*) заключается в том, что ее содержимое может изменяться. Например, пользователь интернет-магазина с помощью определенных фильтров отправляет запрос, в ответ на который система предоставляет список товаров, соответствующих заданным критериям.

Перед тем как описывать работу с динамическими страницами, позволим себе напомнить типичный алгоритм *HTTP*-сеанса: устанавливается *TCP*-соединение, отправляется запрос клиента веб-серверу, затем клиенту отсылается ответ сервера, после чего *TCP*-соединение разрывается.

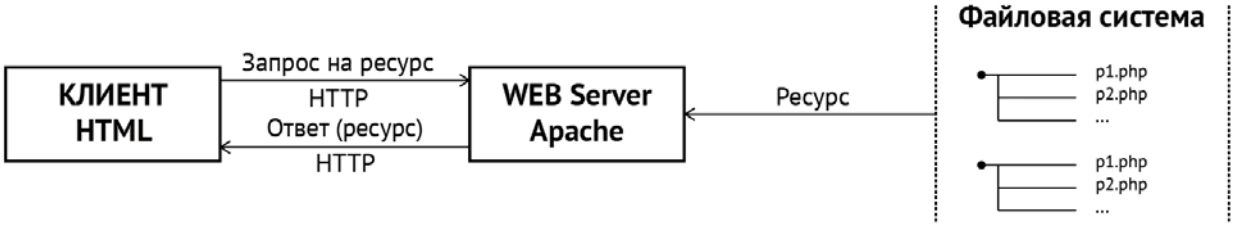


Рис. 1.

Динамические *HTML*-страницы формируются на основе скриптов с помощью *PHP*-интерпретатора (рис. 2). Стоит заметить, что в ходе интерпретации могут потребоваться данные из базы данных (БД). Таким образом мы можем спросить у пользователя, что именно ему нужно. Для этого интерпретатор взаимодействует с *SQL*-сервером. Веб-сервер передает скрипты, в которых формируются запросы для *SQL*, а также параметры, которые он получил от пользователя, препроцессору, а затем передает управление интерпретатору.

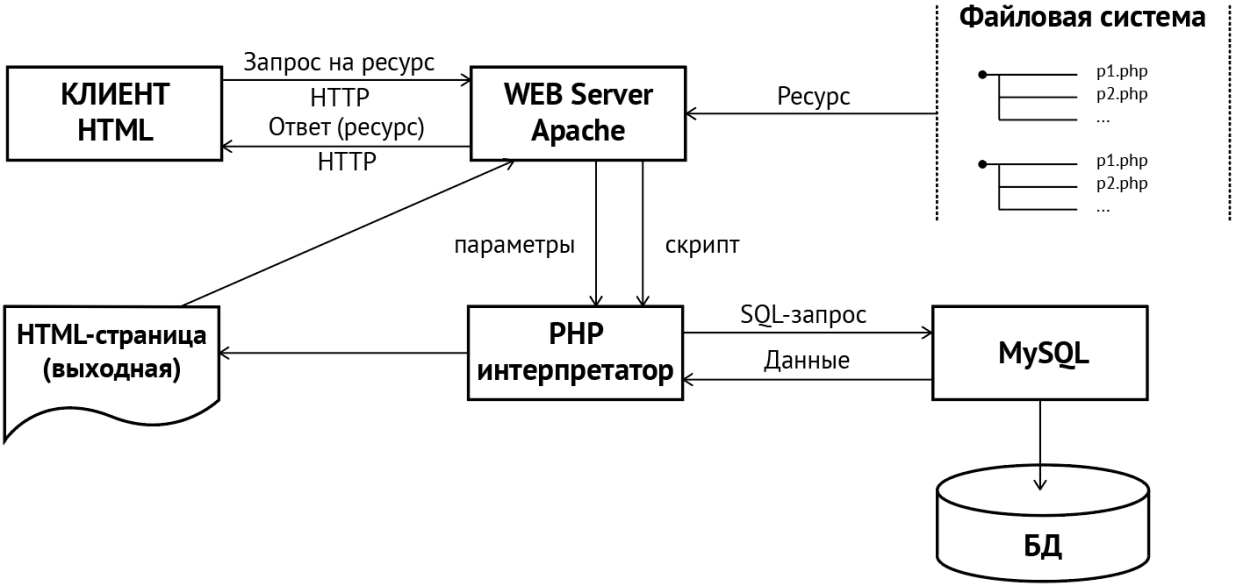


Рис. 2.

Получив данные из БД, *PHP*-интерпретатор будет предоставлять их в выходную страницу. Заметим, что можно работать с любым *SQL*-сервером, достаточно подключить необходимые для работы библиотеки. После окончания формирования *HTML*-страницы интерпретатор возвращает управление веб-серверу.

Одним из самых простых и понятных примеров является система авторизации пользователей в информационной системе. Клиент вызывает страницу с формой авторизации, веб-сервер отправляет клиенту эту страницу. Клиент заполняет форму и отправляет ее на веб-серверу. Веб-сервер в свою очередь передает скрипт с *SQL*-запросом препроцессору, после чего управление передается *PHP*-интерпретатору, который уже формирует запрос для *SQL*. База данных проверяет, существует ли пользователь с введенным

логином, а также «смотрит», какие права доступа он имеет. Полученный из БД результат запроса передается *PHP*-интерпретатору, который сформирует выходную страницу — либо сообщение об ошибке, либо передает параметры, которые получил от пользователя под логином которого зашли в БД. Осмыслив эту задачу, мы поймем, что скрипт помогает нам решить две разные задачи. Первая — это реализовать бизнес-логику, а вторая — это красиво предоставить данные пользователю.

3 Системные *UML*-диаграммы последовательностей

Очень важно понимать то, что при разработке информационной системы необходимо разделять бизнес-логику и *html*-код страницы. Бизнес-логику приложения принято описывать с помощью системных диаграмм последовательностей (*UML*-диаграмм) — высокоуровневым функциональным вариантом требования для представления успешных сценариев информационных систем и расширений к ним. Приведем пример системной UML-диаграммы последовательностей (рис. 3) с расширениями (рис. 4) для главного сценария «Оформление нового заказа» информационной системы «Интернет-магазин одежды».

Рис. 3.

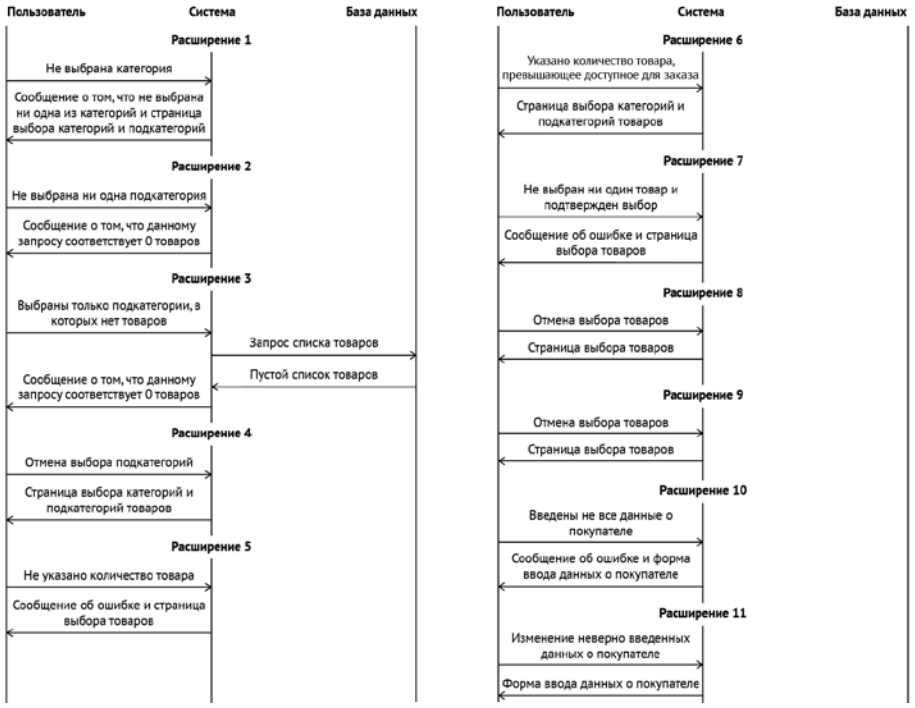


Рис. 4.

Диаграмма наглядно показывает, как взаимодействуют между собой пользователь и система, а также сама система и база данных. Все события описываются в последовательном порядке, как происходят действия одно за другим. Использование такой диаграммы повышает качество информационной системы, поскольку рассматривает различные варианты поведения системы и ее пользователя.

Разработчик отвечает только за реализацию действий и условных переходов и не может изменить поведение информационной системы намеренно или по ошибке. Все проверки корректности переходов производятся еще на этапе проектирования, что уменьшает число ошибок. Например, такие проверки гарантируют отсутствие необработанных исключений и нереализованных вариантов поведения или использования.

4 Шаблоны и контроллеры

Напомним еще раз, при проектировании информационной системы обязательным условием является разделение бизнес-логики и оформления страниц системы. Как правило, над этими частями работают разные специалисты, и веб-дизайнеру, который умеет обращаться только с *HTML*-кодом, не стоит предоставлять доступ к редактированию элементов бизнес-логики (то есть *PHP*-скрипта), поскольку он не является специалистом в данной области. Одно неосторожное изменение в коде может повлечь за собой множество ошибок.

Поэтому принято для веб-страницы оставлять преимущественно *HTML*-код. А управляющий *PHP*-скрипт выносят в отдельный файл. При работе системы запускаются именно скрипты. Возникает вполне логичный вопрос — как же сообщить скрипту, что в определенном месте нужно выполнить содержимое некоторого *html*-файла? Для этого используют специальную команду *include*.

Статическая веб-страница должна состоять практически только из *HTML*-кода, за исключением небольших фрагментов *PHP*-кода, с помощью которых вставляются динамически сгенерированные значения. Такая страница называется шаблоном. Файл с *PHP*-скриптом называют контроллером, в нем реализуется логика, на основе которой происходит передача того или иного шаблона браузеру. Чтобы было проще отличить шаблон от контроллера, можно для шаблонов использовать расширение *.html.php*. Веб-сервер их будет воспринимать как обычные PHP-скрипты, но для вас, как программистов, это будет более наглядно.

Подчеркнем, что очень важно придерживаться принципа «один контроллер — много шаблонов». То есть на один сценарий программист пишет только один контроллер, который реализует бизнес-логику данного сценария. Именно в этом скрипте программист в соответствии с предварительно составленной *UML*-диаграммой последовательности описывает всевозможные варианты поведения пользователя и системы, взаимодействие системы с базой данных. Поэтому можно смело утверждать, что разработка структуры информационной системы при создании контроллера не является «лишним» усилием. Приложение содержит меньше ошибок, т.к. проверка корректности происходит на этапе проектирования.

В примере, для которого мы определили *UML*-диаграмму последовательностей, будут следующие шаблоны:

"*category.html.php*" - шаблон для выбора категорий и подкатегорий товаров (рис. 2);

"*goods.html.php*" - шаблон для выбора товаров для заказа (рис. 3);

"*contacts.html.php*" - шаблон для ввода информации о клиенте;

"*confirm.html.php*" - шаблон для подтверждения заказа;

"*success.html.php*" - шаблон с сообщением об успешном формировании заказа.

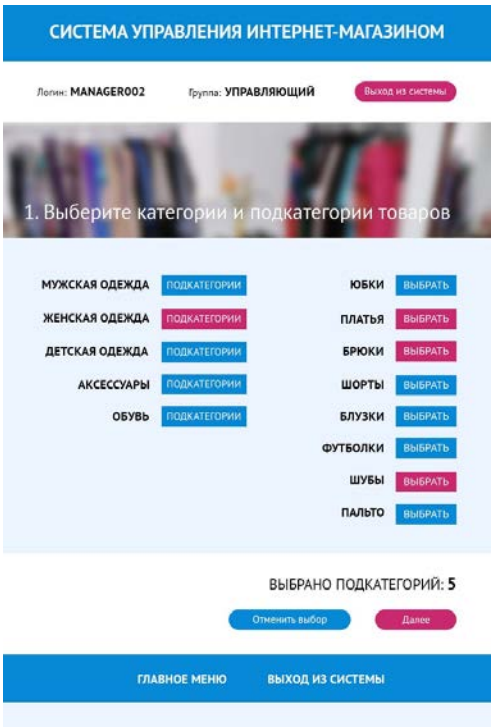


Рис. 5.

Рис. 6.

Логика контроллера влияет на формирование требований к шаблонам. Перед непосредственным "программированием" информационной системы необходимо предъявить требования к ее оформлению в соответствии с функциональными требованиями - то, в каком виде будут представлены конечному пользователю информация на странице, формы ввода, сообщения об ошибках и т.д. Такие требования можно предъявить в виде описания (как к одному шаблону, так и сразу к нескольким), также не лишним будет изобразить их графически. В качестве примера в соответствии с ранее построенной UML-диаграммой (см. рис. 3, рис. 4) представим графическую интерпретацию требований к шаблонам для выбора категорий и подкатегорий товаров (рис. 5) и для выбора товаров для заказа (рис. 6).

Каждый контроллер реализует бизнес-логику конкретного варианта использования. А что, если в нашей системе несколько сценариев, и соответственно несколько контроллеров? Как передать управление от одного контроллера к другому? Реализуется это с помощью «главного» контроллера в виде главного меню управления с упорядоченным определенным образом списком ссылок на контроллеры информационной системы.

При разработке информационной системы для каждого сценария выделяется отдельный подкаталог с названием сценария, который должен содержать один единственный управляющий скрипт — контролер в виде файла *index.php* и один или более шаблон с расширением *.html.php*. Важно называть скрипт контроллера именно *index.php* и никак иначе! Делается это для того, чтобы не демонстрировать пользователю системы технологические решения. *URL*-адрес для доступа к скрипту не будет содержать «ненужного» расширения *.php*, он станет более коротким и запоминающимся, что несомненно является плюсом.

Информационная система применяется для формирования, обработки и использования информации в определенных целях. Извлекаемая информация — это не хранимые данные, а результат обработки хранящихся данных. Информация не всегда бывает полной, поэтому она требует постоянного вмешательства разработчика и постоянного обновления. Эти изменения соответствует постоянному обновлению информационной системы. Соответственно скрипты, которые создаются при разработке системы, также должны обновляться, так как предполагается, что функциональные

требования должны постоянно и грамотно корректироваться в процессе описания бизнес-логики, участниками которых должны быть разработчики и пользователи.

Предложенный нами подход к разработке облегчает внесение изменений в информационную систему. Предположим, нам необходимо добавить новый шаблон в систему. Для этого достаточно добавить в контроллер небольшую часть программного кода в виде условия с подключением страницы шаблона с помощью команды *include*. Соответственно перед этим нужно будет внести изменения в UML-диаграмму и описать расширения к сценарию данной части.

В главном сценарии рассматриваемой ранее информационной системы не хватает шаблона для корзины покупок. После подтверждения выбора товаров пользователь должен иметь возможность просмотреть список выбранных товаров и сделать выбор - подтвердить, очистить список, либо внести в него изменения. Предоставим дополнение к UML-диаграмме последовательностей (рис. 7).

Рис. 7.

Заключение

Рассмотрена проблема проектирования информационной системы в виде шаблонов и контроллеров. Предложенный нами подход позволяет разработчику сконцентрироваться на проектировании бизнес-логики информационной системы.

Литература

1. Янк К. PHP и MySQL. От новичка к профессионалу: пер. с англ. М.: Эксмо, 2013. 384 с.
2. Зандстра М. PHP: объекты, шаблоны и методики программирования, 3-е изд. : пер. с англ. / под ред. С.Н. Тригуба. М.: Вильямс, 2011. 560 с.
3. Горшкова Е.А., Новиков Б.А., Белов Д.Д., Гуров В.С., Спиридонов С.В.. Моделирование контроллера web-приложений с использованием UML // Программирование. 2005. № 1. С. 44–51.

СЕКЦИЯ 2

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Мультимедийная ауд.278, гл. корпус МГТУ им. Н. Э. Баумана
Начало в 10.00.

МОДУЛЬ СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМЕ «УМНЫЙ ДОМ»

Азябин С.В., Пашинский И.О.
Научный руководитель:к.т.н., доцент Макарчук В.В.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

THE DATA ACQUISITION MODULE FOR USE IN HOME AUTOMATION SYSTEM

Azyabin S.V., Pashinskiy I.O.
Supervisior: Associate Professor Makarchuk V.V.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация
Работа посвящена вопросам разработки модуля сбора данных для применения в системах «Умный дом», системах домашней автоматизации. Проведен подробный анализ аналогов модуля сбора данных. В работе рассмотрены перспективные направления для повышения энергоэффективности модуля сбора данных. Разработана улучшенная структурная схема модуля. Особое внимание уделено энергоэффективным архитектурным решениям и выбору элементной базы для реализации модуля. Проведен оценочный расчет потребляемой модулем сбора данных мощности в различных режимах.
Ключевые слова:система «Умный дом», сбор данных, окружающая среда, харвестер.

Abstract
The work is dedicated to the development of a data acquisition module for use in a home automation systems. The detailed analysis of analog data acquisition module was done. In this article the promising directions for energy efficiency data acquisition module are discussed. An structural scheme of module is improved. Particular attention is paid to energy efficient architectural solutions and the choice of the element base for the implementation of the module. Spend a rough calculation of power consumption data acquisition module in different modes.
Keywords:home automation system, data acquisition, environment, ambient RF energy, energy harvesting.

Введение

Работа посвящена вопросам разработки модуля сбора данных для применения в системах «Умный дом», системах домашней автоматизации.

Актуальность работы определяется широким распространением систем домашней автоматизации, систем типа «Умный дом», а также всеобщим распространением IoT (Internet of Things–Интернета вещей). По прогнозам специалистов, к 2020 году ожидается расширение IoT до 34 млрд. устройств [1]. При этом, для эффективной работы автоматизированных систем требуется большое количество модулей сбора данных. В системах домашней автоматизации, входящих в IoT, используется множество датчиков, измеряющих параметры окружающей среды, такие как: влажность, температура, давление, содержание углекислого газа, а также датчики протечки воды, расхода газа/воды/электричества, датчики присутствия и пр.

Однако, модули сбора данных, имеющиеся в продаже, обладают малой энергоэффективностью, требуют частой замены батарей питания, что делает применение систем типа «Умный дом» менее удобным и более затратным.

Целью работы является разработка модуля сбора данных для систем домашней автоматизации с гибким протоколом обмена данными, достаточно большим набором датчиков и при этом высокой энергоэффективностью.

Для достижения заявленной цели в работе предусматривается решение следующего комплекса задач:

− функциональный анализ существующих модулей сбора данных;
− анализ современной элементной базы;
− анализ протоколов беспроводной связи;
− разработка структурной схемы модуля сбора данных.

Результатом работы является улучшенная структурная схема модуля сбора данных.

1 Обзор существующих аналогов модуля сбора данных

На сегодняшний день на рынке электроники представлено достаточно большое разнообразие устройств, которые позволяют измерять температуру, влажность, качество воздуха и другие параметры окружающей среды[2, 3, 4].

Однако, значительная часть представленных устройств не предназначена для использования в системах домашней автоматизации, т.к. отсутствует стандартизированный интерфейс для связи устройств и протокол обмена данными, также для работы с устройствами сбора данных требуется мобильный телефон с установленными различными фирменными приложениями для каждого устройства. Такими недостатками обладает, например, метеостанция CliMate. На рисунке 1 показан внешний вид самой маленькой в мире беспроводной метеостанции CliMate. Из-за отсутствия стандартизированного интерфейса и протокола обмена данными подобные устройства не могут передавать данные на центры сбора данных, концентраторы, исполнительные устройства. К недостаткам упомянутых устройств следует отнести: отсутствие дисплея для вывода данных, питание от гальванических элементов, требующее частой замены батарей.

Рис. 1. Самая маленькая в мире беспроводная метеостанция CliMate

Для применения в системах домашней автоматизации разработан ряд устройств, которые позволяют измерять температуру, влажность, освещенность, а также могут управлять различными нагрузками [5, 6].На рисунке 2 показан датчик климатический SB-CMS-THL.

Рис. 2. Датчик климатический SB-CMS-THL

Датчики подобного типа предполагают потолочное крепление. Питание датчиков осуществляется от блоков питания с выходным напряжением 24В. Для передачи данных используется шина HDL. Также датчики имеют два дискретных входа, что позволяет подключить к датчику внешние датчики: датчики разбития, открытия окон, открытия дверей, дополнительные нестандартные клавишные панели и т.п. Датчик имеет встроенные логические модули, позволяющие реализовать 32 логических действия. К недостаткам этих модулей следует отнести: отсутствие возможности беспроводной передачи данных, питание от блока питания, избыточную функциональность (зачастую от датчика требуется выполнение главной полезной функции – сбор данных о параметрах окружающей среды,

дополнительные функции подключения датчиков, управления нагрузками неудобны, т.к. требуется непосредственное проводное подключение датчика к устройству управления).

В последнее время для применения в системах домашней автоматизации получили широкое распространение устройства, передающие данные по протоколу Z-Wave.

Рассмотрим данный класс устройств подробнее.

Датчик влажности/температуры EverspringST814 является комбинированным датчиком температуры и влажности, который может быть установлен как на столе, так и на стене. Датчик оснащен ЖК-дисплеемс встроенной подсветкой, который показывает значение температуры и влажности, имеет 4 кнопки управления, которые позволяют показывать минимальные, максимальные и фактические значениями влажности и температуры в градусах по Фаренгейту и Цельсию.

Устройство позволяет передавать значения температуры и влажности с помощью протокола Z-Wavec рабочей частотой 868 МГц.Также путем установки пороговых значений датчика возможен прямой контроль других устройств Z-Wavев случае, когда текущие значения температуры и влажности превышают пороговые значения. Эти возможности превращают датчик в очень мощный и гибкий инструмент для измерения показателей окружающей среды и управления устройствами в сети Z-Wave[7].

Внешний вид датчика влажности/температуры Everspring представлен на рисунке 3.

Рис. 3. Внешний вид датчика влажности/температуры Everspring ST814

Питание датчика осуществляется с помощью трех 1,5 В АА батарей. Датчик имеет размеры: 85x85x35 мм. Датчик может эксплуатироваться при температуре от минус 10 до плюс 50°С и относительной влажности воздуха от 20 до 90%. Дальность передачивнутри помещений не более 30 м. Время работы от батарей в режиме ожидания не менее 1 года (при 25°С).

Кроме датчика температуры/влажности ST814, в продаже имеется беспроводной датчик освещенности ST815[8]. Датчик позволяет измерять освещенность в диапазоне от 0 до 3000 Лк. Датчик может сигнализировать о выходе значения освещенности за установленные пределы, а также управлять другими устройствами в сети Z-Wave. Остальные параметры аналогичны датчику ST814. К недостаткам датчика ST815 следует отнести низкий функционал, и достаточно высокую цену.

Мультисенсор Aeotec имеет расширенный функционал: он позволяет измерять температуру, влажность, освещенность, а также содержит датчик движения[9].На рисунке 4 показан внешний вид датчика Aeotec. Датчик Aeotec является беспроводным датчиком, передающим данные по сети Z-Wave. В состав датчика входит большая линза Френеля, обеспечивающая больший обзор. Датчик измеряет относительную влажность в диапазоне от 20 до 90 % с точностью ±5 %, измеряет температуру в диапазоне от минус 20 до плюс 50 °С с точностью ±1 °С, позволяет измерять освещенность в диапазоне от 0 до 1000 Лк. Питание датчика осуществляется либо от четырех 1,5 В AAA батарей, либо посредством miniUSB.

Датчик имеет степень защиты IP43 и габаритные размеры: диаметр 75 мм, высоту 57 мм без крепления.

Рис. 4. Внешний вид мультисенсора Aeotec

Для измерения уровня углекислого газав помещении применяются анализаторы качества воздуха Siegenia-AubiSensoAir. На рисунке 5 показан внешний вид анализатора качества воздуха Siegenia-AubiSensoAir.

Рис. 5. Внешний вид анализатора качества воздуха Siegenia-AubiSensoAir

Анализатор качества воздуха в помещении включает в себя два датчика, которые измеряют уровень CO_2, а такжеконцентрацию и уровень летучих органических соединений.Качество воздуха отображается посредством встроенных светодиодов, расположенных на передней панели устройства. Анализатор качества воздуха имеет крепление на стену. Анализатор работает в сети Z-Wave и может управлять любым реле или диммером Z-Wave для включения проветривания помещения, включая Aeorpac. Питание анализатора осуществляется от сети переменного напряжения 220 В. Рабочая частота составляет 869 МГц.

По результатам анализа аналогов модуля сбора данных можно сделать вывод о том, что на сегодняшний день на рынке электроники нет модуля сбора данных, позволяющего измерять наиболее важные для жизнедеятельности человека параметры окружающей среды, такие как: температура, влажность, освещенность, уровень углекислого газа. Имеющиеся в продаже модели зачастую не содержат модуля для беспроводной связи, а также не имеют удобного стандартизированного протокола обмена информацией.

Также стоит отметить, что питание большинства предлагаемых технических решений осуществляется от дополнительных блоков питания, либо гальванических элементов, что

делает эксплуатацию датчиков менее удобной и при значительном росте числа датчиков приводит к существенным финансовым затратам.

2 Описание структурной схемы модуля сбора данных

Проанализировав структурные схемы аналогов модуля сбора данных, можно сделать вывод о том, что наибольшая часть модулей сбора данных имеет одинаковую архитектуру. А именно: для измерения различных физических величин имеется набор датчиков (см. рисунок 6 слева), микроконтроллер, кварцевый резонатор, радиомодуль, антенну и гальванический элемент питания. Иногда, взамен гальванического элемента питания, используется питание от внешнего или встроенного блока питания. Типовая структурная схема модуля сбора данных показана на рисунке 6.

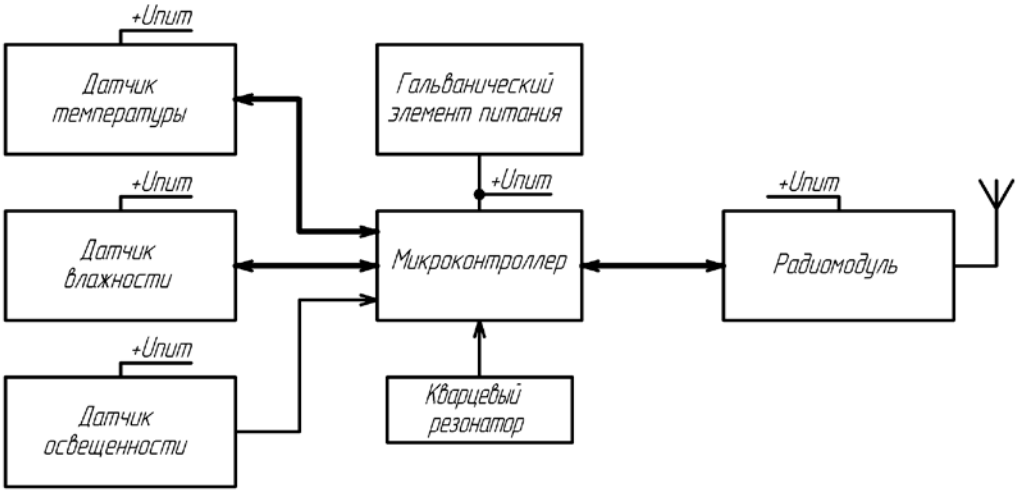


Рис. 6. Типовая структурная схема модуля сбора данных

Однако становится очевидным, что приведенная на рисунке 6 типовая структурная схема модуля сбора данных становится неактуальной. Опираясь на последнее исследование рынка в области систем домашней автоматизации, систем контроля доступа, IoT, следует ожидать роста рынка систем домашней автоматизации с 20,38 млрд. долларов в 2014 до 58,68 млрд. долларов к 2020 году [11]. В связи с этим, в ближайшие годы стоит ожидать значительного роста числа применяемых датчиков, модулей сбора данных. По оценке специалистов,их количество к 2020 году может достигнуть 34 млрд. устройств. Поэтому использование в подобных модулях гальванических элементов питания, а тем более дополнительных блоков питания нецелесообразно. В докладе особо подчеркивается необходимость создания энергоэффективных модулей сбора данных, которые будут использовать возобновляемую энергию, а также использовать эффективные алгоритмы для минимизации расхода энергии.

Если обратиться к ТРИЗ, то поиск незадействованных ресурсов можно начать производить в надсистеме, которой для модуля сбора данных является окружающая среда, квартиры, частные дома, производственные помещения.

Наиболее актуальным направлением на сегодняшний день является включение в структурную схему так называемых харвестеров (от англ. harvest «собирать урожай»), устройств, которые способны «собирать» возобновляемую энергию из окружающей среды.

По сообщению специалистов TexasInstruments, основными источниками энергии для различных электронных устройств могут быть: свет, разница температур, вибрация/перемещения, электромагнитные поля. В таблице 1 приведены характеристики доступных источников возобновляемой энергии [12].

Проанализировав данные из таблицы 1, можно сделать вывод о том, что для питания модулей сбора данных, в условиях помещения, наиболее целесообразно использовать

солнечную энергию, энергию электромагнитных полей и, по возможности, эффект Зеебека (термоэлектрический эффект), например, при установке датчиков вблизи бойлеров и т.п.

Таблица 1 – Характеристики доступных источников возобновляемой энергии

Источник энергии	**Удельная запасаемая мощность**
Вибрация/движение	
- Свойственно для человека	4 мкВт/см^2
- В промышленности	100 мкВт/см^2
Разница температур	
- Свойственно для человека	25 мкВт/см^2
- В промышленности	От 1 до 10 мВт/см^2
Свет/солнечная энергия	
- В помещении	10 мкВт/см^2
- На открытом воздухе	10 мВт/см^2
Электромагнитные поля	
- GSM	0,1 мкВт/см^2
- Wi-Fi	0,001 мВт/см^2

На основе приведенной таблицы 1, а также нового подхода к питанию модуля сбора данных скорректируем структурную схему модуля.

Скорректированная структурная схема модуля сбора данных показана на рисунке 7.

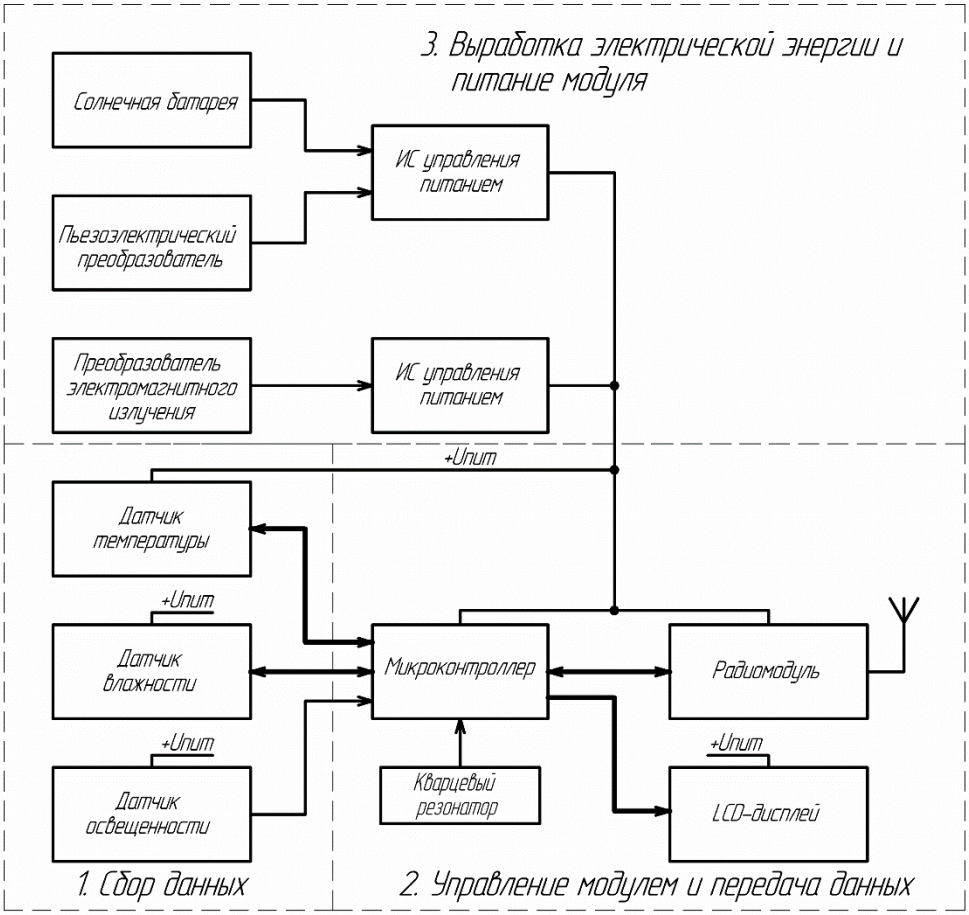


Рис. 7. Улучшенная структурная схема модуля сбора данных

Структурная схема состоит из трех основных частей: часть, отвечающую за сбор данных (набор датчиков), часть, отвечающую за управление модулем сбора данных и передачу данных и часть, отвечающую за выработку электрической энергии, содержащую

несколько каналов для работы с разными видами энергии: энергией электромагнитных полей (Wi-Fiи GSM), солнечной энергией, энергией от различных вибраций.

ИС управления питанием или PMIC (PowerManagementIntegratedCircuit) содержит входные диодные мосты, для выпрямления напряжения, DC-DCконвертеры, компараторы для оценки уровня выходного напряжения [13]. В качестве микросхемы PMICможет применяться микросхема MB39C811 или MB39C831. Компания FujitsuSemiconductor объявила о выпуске микросхем MB39C811 и MB39C831, специально спроектированных для систем сбора энергии из окружающей среды. Они представляют собой преобразователи напряжения постоянного тока: MB39C811 — понижающий, MB39C831 — повышающий.Преобразователи Fujitsu MB39C811 и MB39C831 рассчитаны на использование в электронных устройствах, которым не нужны батареи. Ток покоя MB39C811 не превышает 1,5 мкА, а КПД является рекордным для приборов такого рода. Более того, по словам производителя, MB39C811 — первый однокорпусный преобразователь, рассчитанный на одновременное использование энергии света и вибрации. Предусмотрен выбор одного из восьми уровней выходного напряжения. Ток нагрузки может достигать 100 мА [14].

Также для увеличения времени автономной работы в состав части выработки энергии может входить твердотельная батарея или миниатюрный суперконденсатор [15]. В этом случае необходимо установить миниатюрную перезаряжаемую твердотельную батарею, например, типа EnerChip CBC050-BDC[16], и микросхему для ее зарядки типа SPV1050 [17].

3 Выбор энергоэффективного протокола беспроводной связи

На сегодняшний день в системах домашней автоматизации наиболее широко представлены такие протоколы как: Zigbee, Z-wave, Wi-Fi, EnOcean, и Bluetooth [18-20].

В таблице 2 представлены основные характеристики протоколов беспроводной связи.

Таблица 2 – Основные параметры протоколов беспроводной связи для систем «Умный дом»

	EnOcean	Z-Wave	ZigBee	Bluetooth LE	Wi-Fi
Организация	EnOcean Alliance	Z-Wave Alliance	ZigBee Alliance	Bluetooth SIG	Wi-Fi Alliance
Частотный диапазон	315, 868, 900, 920 МГц	900 МГц	868 МГц, 915 МГц, 2,4 ГГц	2,4 ГГц	2,4 ГГц, 5,8 ГГц
Скорость передачи данных	Низкая	Низкая	Низкая	Средняя	Очень высокая
Дальность передачи (зависит от мощности)	50 ÷ 300 м	30 м	100 м	50 м	100 м
Потребление	Очень низкое	Среднее	Очень низкое	Очень низкое	Высокое
Совместимость с харвестерами	Очень хорошая	Хорошая	Очень хорошая	Очень хорошая	Плохая

Из таблицы 2 видно, что наиболее подходящими протоколами, для применения в малопотребляющих устройствах, являются протоколы EnOcean, ZigBee, Bluetooth LE.

Учитывая большую доступность модулей связи для протокола ZigBee, а также приемлемую дальность передачи, для построения модуля сбора данных разумно выбрать протокол ZigBee.

4 Выбор элементной базы для реализации модуля сбора данных

После анализа доступных модулей связи по протоколуZigBeeбыл выбран модуль MRF24J40MA компании Microchip.

На рисунке 8 представлен внешний вид ZigBee модуля MRF24J40MA.

Рис. 8. Внешний вид ZigBee модуля MRF24J40MA компании Microchip

Основные технические параметры:

- Максимальная скорость передачи данных – 250 Кбит/с.
- Диапазон рабочихчастот – 2.405 ÷ 2,48 ГГц.
- Интерфейс подключения – SPI.
- Диапазон рабочих температур – от минус 40°С до плюс 85°С.
- Потребление в режиме передачи данных – 23 мА.
- Потребление в «спящем» режиме – 2мкА
- Диапазон напряжения питания – 2.4В ÷ 3.6В.
- Стоимость – 800руб/шт.

Для построения модуля сбора данных был выбран микроконтроллер STM8L051F3. Семейство микроконтроллеров STM8Lотличается сверхнизким потреблением: потребление в активном режиме из Flashсоставляет всего 192 мкА/МГц, при запуске из RAM90 мкА/МГц. Также большим преимуществом данного микроконтроллера является наличие пяти режимов сна, что позволяет максимально гибко использовать возможности микроконтроллера. Потребление микроконтроллера в режиме сна «Lowpowerwait»составляет 3 мкА. Максимальная тактовая частота микроконтроллера равна 16 МГц. Микроконтроллер имеет 4 канала контроллера прямого доступа к памяти (DMA).

В качестве датчика температуры была выбрана микросхема DS18B20, подключаемая к микроконтроллеру по интерфейсу 1-Wire. Микросхема DS18B20 отличается достаточно высокой точностью измерения температуры: в диапазоне от минус 10 до плюс 85 ^{o}С погрешность измерения составляет ±0,5 ^{o}С. При этом микросхема обладает низким энергопотреблением: ток потребления в режиме ожидания составляет 750 нА, в режиме измерения 1 мА.

В качестве датчика относительной влажности воздуха применен датчик HIH-4000-004. Большим преимуществом данного датчика является его низкое потребление: в активном режиме ток потребления составляет не более 500 мкА. При этом датчики обладают высокой точностью измерений: погрешность составляет не более 0,5 %. Полная взаимозаменяемость датчиков позволяет значительно сократить затраты на калибровку.

В качестве солнечной батареи можно использовать миниатюрную батарею типа AM-1513 или BP-3513C4 фирмы PANASONIC, в качестве микросхемы PMIC – MB39C811.

Освещенность окружающей среды измеряется с помощью встроенной солнечной батареи, либо можно установить дополнительно фоторезистор MLG5516B.

Также к модулю сбора данных можно подключить барометр GY-68 для измерения атмосферного давления.

5 Оценочный расчет потребляемой мощности

Модуль сбора данных построен на основе структурной схемы, представленной на рисунке 7. Для оценки потребляемой модулем мощности произведем расчет потребляемой мощности. Данные для расчета взяты из описания примененной элементной базы в п. 4.

Потребляемая модулем сбора данных в режиме сна мощность рассчитывается как:

$$P_{SLEEP} = V_{MCU} \cdot I_{MCU}^{SLEEP} + V_{RF} \cdot I_{RF}^{SLEEP} + V_{HUM} \cdot I_{HUM}^{SLEEP} + V_{TEMP} \cdot I_{TEMP}^{SLEEP}, \quad (1)$$

где P_{SLEEP} – мощность, потребляемая модулем в режиме сна, Вт;

V_{MCU}, V_{RF}, V_{HUM}, V_{TEMP} – напряжения питания микроконтроллера, радиомодуля, датчика влажности, датчика температуры соответственно, В;

I_{MCU}^{SLEEP}, I_{RF}^{SLEEP}, I_{HUM}^{SLEEP}, I_{TEMP}^{SLEEP} – токи потребления в режиме сна микроконтроллера, радиомодуля, датчика влажности, датчика температуры соответственно, А.

Произведя расчет потребляемой мощности в режиме сна, получим:

$$P_{SLEEP} = 3.3 \cdot 3 \cdot 10^{-6} + 3.3 \cdot 2 \cdot 10^{-6} + 3.3 \cdot 500 \cdot 10^{-6} + 3.3 \cdot 750 \cdot 10^{-9} = 1.67 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}$$

Мощность в активном режиме рассчитывается аналогично формуле (1):

$$P_{RUN} = V_{MCU} \cdot I_{MCU}^{RUN} + V_{RF} \cdot I_{RF}^{RUN} + V_{HUM} \cdot I_{HUM}^{RUN} + V_{TEMP} \cdot I_{TEMP}^{RUN},$$

где P_{RUN} – мощность, потребляемая модулем в активном режиме, Вт;

V_{MCU}, V_{RF}, V_{HUM}, V_{TEMP} – напряжения питания микроконтроллера, радиомодуля, датчика влажности, датчика температуры соответственно, В;

I_{MCU}^{RUN}, I_{RF}^{RUN}, I_{HUM}^{RUN}, I_{TEMP}^{RUN} – токи потребления в активном режиме микроконтроллера, радиомодуля, датчика влажности, датчика температуры соответственно, А.

Произведя расчет потребляемой мощности в активном режиме, получим:

$$P_{RUN} = 3.3 \cdot 3.1 \cdot 10^{-3} + 3.3 \cdot 23 \cdot 10^{-3} + 3.3 \cdot 500 \cdot 10^{-6} + 3.3 \cdot 1.0 \cdot 10^{-3} = 91.1 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}$$

Выводы по расчету:потребляемая модулем мощность равна: в режиме сна 1,67 мВт, в активном режиме 91,1 мВт.

Заключение

В ходе проведенной работы был проведен подробный анализ аналогов модуля сбора данных, проведен анализ архитектур существующих модулей сбора данных.

В работе рассмотрены перспективные направления для повышения энергоэффективности модуля сбора данных, что особенно актуально в настоящее время. Разработана улучшенная структурная схема модуля, проведен анализ и подбор элементной базы для реализации модуля сбора данных. Проведен оценочный расчет потребляемой мощности модулем сбора данных в режиме ожидания, а также в активном режиме. Полученные в ходе оценочного расчета данные показывают, что модуль сбора данных может работать без дополнительных блоков питания и гальванических элементов, при условии наличия нескольких каналов выработки электрической энергии из электромагнитных полей и с использованием солнечной энергии. Также для устойчивой работы модуля желательно наличие встроенной миниатюрной твердотельной батареи для накопления выработанной энергии.

В дальнейшем планируется разработать электрическую схему, изготовить опытный образец модуля сбора данных и провести необходимые испытания.

Литература

1. How the 'Internet of Things' will impact consumers, businesses, and governments in 2016 and beyond. – Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.businessinsider.com/how-the-internet-of-things-market-will-grow-2014-10. Проверено 08.02.2016.
2. uHoo's Indoor Air Quality Sensor. – Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.uhooair.com/how-it-works. Проверено 08.02.2016.
3. Персональная метеостанция Netatmo. – Электронный ресурс. Режим доступа: http://medgadgets.ru/shop/personal-naja-meteostancija-netatmo.html. Проверено 08.02.2016.
4. CliMate – самый маленький в мире беспроводной трекер окружающей среды. – Электронный ресурс. Режим доступа: http://medgadgets.ru/shop/climate-treker.html?___SID=U. Проверено 08.02.2016.
5. Датчик климатический: температуры, влажности, освещенности SB-CMS-THL. – Электронный ресурс. Режим доступа: http://domintellect.ru/shop/datchiki/datchik_temperaturi_vlagnosti_osveshennosti/. Проверено 08.02.2016.
6. Датчик качества воздуха SB-CMS-LA. – Электронный ресурс. Режим доступа: http://domintellect.ru/shop/datchiki/datchik_kachestvo_vozduha_SB_CMS_LA_/. Проверено 08.02.2016.
7. Датчик температуры и влажности Everspring Temperature and Humidity Sensor. – Электронный ресурс. Режим доступа: http://rus.z-wave.me/shop/sensors/everspring-temperature-and-humidity-sensor/. Проверено 08.02.2016.
8. ST815 - Wireless Illumination Detector. – Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.everspring.com/ST815.aspx. Проверено 08.02.2016.
9. Мультисенсор Aeotec 4 в 1. – Электронный ресурс. Режим доступа: http://rus.z-wave.me/shop/sensors/multisensor-aeon-4-v-1/. Проверено 08.02.2016.
10. Анализатор качества воздуха Siegenia-AubiSensoAir. – Электронныйресурс. Режим доступа: http://rus.z-wave.me/shop/sensors/siegenia-sensorair/. Проверено 08.02.2016.
11. Smart Homes Market by Product. Trend and Forecast to 2020. – Электронный ресурс. Режимдоступа: http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/smart-homes-and-assisted-living-advanced-technologie-and-global-market-121.html. Проверено 08.02.2016.
12. Why the Internet of Things Needs Energy Harvesting. – Электронный ресурс. Режим доступа:https://www.element14.com/community/groups/internet-of-things/blog/2015/07/28/how-energy-harvesting-can-keep-the-iot-powered-up-and-growing. Проверено 08.02.2016.
13. MB39C811 - Ultra Low Power Buck Power Management ICfor Solar/Vibrations Energy Harvesting. – Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.spansion.com/fjdocuments/fj/Datasheet/e-ds/MB39C811_DS405-00013.pdf. Проверено 09.02.2016.
14. Микросхемы-преобразователи Fujitsu. – Электронный ресурс. Режимдоступа: http://www.ixbt.com/news/hard/index.shtml?16/75/96/. Проверено 09.02.2016.
15. Powering IoT Devices: Technologies and Opportunities. – Электронный ресурс. Режим доступа: http://iot.ieee.org/newsletter/november-2015/powering-iot-devices-technologies-and-opportunities.html. Проверено 09.02.2016.
16. EnerChip™ Smart Solid State Batteries. – Электронный ресурс. Режим доступа:http://www.cymbet.com/products/enerchip-solid-state-batteries.php. Проверено 09.02.2016.
17. Ultralow power energy harvester and battery charger.– Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/DM00100984.pdf. Проверено 09.02.2016.
18. Energy-harvesting devices replace batteries in IoT sensors. – Электронный ресурс. Режимдоступа:http://core.spansion.com/article/energy-harvesting-devices-replace-batteries-in-iot-sensors/. Проверено 09.02.2016.
19. СПОСОБ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ / Шахнов В.А., Муравьев К.А. и др. - Патент на изобретение RUS 2556423 05.07.2013.
20. Денисенко Н.А., Лавров А.В., Муравьев К.А., Чебова А.И. ИССЛЕДОВАНИЯ СЕНСОРНОЙ СЕТИ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ // Датчики и системы. 2013. № 9 (172). С. 51-55.

ЁМКОСТНАЯ СЕНСОРНАЯ ПАНЕЛЬ ДЛЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Терентьев Д.С.
Научный руководитель: д-р техн. наук, проф. В.А.Шахнов
МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

THE CAPACITOR TOUCH PANEL FOR INTERACTIVE COMMUNICATIONS

Terentiev D.S.
Supervisior: Dr. Shakhnov V.A.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация
Работа посвящена вопросам разработки сенсорных экранов, которые позволяют сделать интерфейс между пилотом (пассажирами) и электронной бортовой аппаратурой гораздо более понятным и удобным. Основное внимание уделено анализу их функциональных характеристик с позиции функционального комфорта и принятия решений.
Ключевые слова: авионика, сенсорные экраны, передача данных.

Summary
Work is devoted to questions of development of touch screens which allow to make the interface between the pilot (passengers) and the electronic onboard equipment much more clear and convenient. The main attention is paid to the analysis of their functional characteristics from a position of functional comfort and decision-making.
Keywords: avionics, touch screens, data transmission.

Введение

Появление в последние годы сенсорного интерфейса управления летательными аппаратами связано с внедрением графических цветных ЖК-индикаторов для отображения информации в авионике в 1994 году (Боинг 777) [1]. В последствие в электронную бортовую аппаратуру, например, вертолётов (Robinson Helicopter Company, 2014 [2]) стали внедряться сенсорные навигаторы, которые уже более десяти лет применяются в автомобильной промышленности и персональных мобильных электронно-вычислительных устройствах с навигационными системами.

Несколько лет назад (2012) компанией Rockwell Collins была разработана первая в авионике интегрированная сенсорная система управления и интерфейса пилота/пассажиров летательного транспортного средства всех назначений (гражданская и военная авиация) [3], где инфракрасные сенсорные экраны 14” [4] с цветными ЖК-индикаторами применяются в информационно-измерительной электронной аппаратуре пилота, а также в системе управления салоном посредством встроенных в кресла пассажиров сенсорные панели 3,8” [5]. Компания Curtiss-Wright Controls Defense Solutions - разработала 21,5-дюймовый резистивный сенсорный экран SkyQuest AVDU5500 специального назначения с повышенными требованиями по устойчивости к внешним воздействующим факторам для силовых ведомств (правоохранительные органы, вооружённые силы) и поисково-спасательных работ с возможностью внедрения как в самолеты, так и вертолеты, и поддерживающий интерфейсы USB, Ethernet и RS422/232, навигационную систему GPS [6].

Анализируя текущие направления и решения, можно предположить, что в будущем (ориентировачно через 5-6 лет) системы ввода информации в авионике имеют тенденции ко многим альтернативным, биометрическим методам управления электронной аппаратурой летательных аппаратов. Так, концепция управления зрительными методами (взглядом) от компании Panasonic Avionics, жестами в пространстве от Thales Avionics, интеллектуальные интерактивные поверхности (Microsoft) на воздушном судне, электронные контактные линзы (Университет Вашингтона) для пилота и т.п. [7].

1 Анализ проблем и технико-экономических требований к сенсорным системам в авионике

Несмотря на то, что недавно внедрённые в авионику сенсорные экраны позволяют сделать интерфейс между пилотом (пассажирами) и электронной бортовой аппаратурой гораздо более понятным и удобным, а также сокращают размеры последней, они обладают множеством недостатков. Так, перечисленные выше инфракрасные широкоформатные (свыше 14 дюймов) экраны обладают не удовлетворительными массово-габаритными и стоимостными характеристиками для широкого применения в авионике, а резистивные надёжностными (10-35 млн.касаний, низкая устойчивость к механическим повреждениям), климатическими (узкий диапазон рабочих температур: -10…+60 ^{0}C), оптическими (светопропускаемость до 85%) и функциональными (отсутствие возможности в наиболее распространённых 4-х проводных резистивных экранах одновременного распознавания двух и более координат прикосновения – функции multi-touch) [8].

При внедрении ёмкостных сенсорных экранов с функцией multi-touch, распознаванием двумерных жестов, более совершенными оптическими (свыше 92%) и надёжностными (200-1000 млн. касаний) характеристиками, возможно избежать этих недостатков и успешно, на первый взгляд, применить эти уже широко внедрённые в мобильные электронно-вычислительные средства и в авионике. Тем не менее, применение сенсорных панелей такого типа без существенных изменений, непосредственно заменив механические переключатели, инфракрасные рамки и резистивные панели, не целесообразно. Это обусловлено специфическими повышенными требованиями к электронной аппаратуре в летательных транспортных средствах.

Помимо повышенных требований по надёжности (устойчивость к механическим воздействиям и долгой наработки на отказ), которым удовлетворяют применяемые на настоящий момент на рынке ёмкостные сенсорные экраны, существует множество других. На борту самолёта, вертолёта, и, тем более, космического корабля, электронная аппаратура должна исправно функционировать в условиях экстремальных температур (например, при -40 ^{0}C, +200 ^{0}C), чему не удовлетворяют традиционные материалы изготовления резистивных и ёмкостных сенсорных экранов на основе оксидов индия и олова, которые также хрупкие и дорогостоящие, что не позволяет их повсеместно внедрить в электронные блоки управления в авионике.

Сенсорный (и традиционный кнопочный) контактный ввод способствует распространению инфекций (особенно для пассажиров воздушного судна), а также загрязняет поверхность дисплея бортовой аппаратуры жировыми пятнами и т.д., требуя регулярных процедур протирания и мойки, ухудшая качество отображения информации, что может стать в некоторых ситуациях критичным с точки зрения оперативного восприятия информации экипажом воздушного судна или космического корабля. Кроме того, многие сенсорные устройства ввода информации для применения в авионике должны проходить множество процедур по сертификации, что увеличивает стоимость их внедрения и снижает потенциал коммерциализации. Устранить все эти проблемы возможно только переходом к бесконтактному ввода информации, способностью бортовой панели к распознаванию жестов, и поиску альтернативных конструкций и способов изготовления сенсорных экранов.

2 Предлагаемое техническое решение и структурно-функциональное построение сенсорной панели интерактивных коммуникаций

В качестве исходных данных для проектирования сенсорной панели для бортовой аппаратуры летательных транспортных средств и её адаптации к высоким требованиям

авионики была выбрана проекционно-ёмкостная сенсорная матрица с бесконтактным вводом, но без применения традиционных оксидов индия и олова - сенсорный экран DFM [9]. Он предназначен для мобильных электронно-вычислительных средств представляет собой проекционно-ёмкостную панель с функцией multi-touch, аналогичный по функциональности сенсорному экрану от компании Apple (на рынке с 2007 года), но обладает меньшей себестоимостью сенсорной матрицы (в 5-6 раз при диагонали 4 дюйма и в 2-3 раза при 15 дюймах) и расширенными надёжностными (500 млн. касаний при электронной компонентной базе коммерческого применения, температурный диапазон - 40...+70 ^{0}C) и оптическими параметрами (светопропускаемость не менее 98% против 90-92%) за счёт иной конструкции и альтернативной технологии изготовления [9].

Для того, чтобы разрабатываемое устройство сенсорно-бесконтактного ввода информации возможно было применить в авионике, следует выбрать, во-первых, подложку из устойчивых к экстремальным температурам компонентов, т.к. традиционная для мобильных электронных устройств широкого потребления сенсорная панель на стеклянной/полимерной подложке и контроллер на печатной плате из стеклотекстолита не желательно использовать в электронной аппаратуре летательных аппаратов, тем более космического назначения. Такими является LFC-материалы (Low-temperature Fireable Ceramics), давно применяемые в автомобильной промышленности, но не для устройств ввода информации. Они представляют собой многослойную стеклокерамику, обрабатывающуюся для получения подложки в сыром виде по LTCC-технологии (Low Temperature Co-fired Ceramics), а отжигу подвегается в конце [10]. Среди многочисленных преимуществ LTCC-керамики по устойчивости к различным внешним влияниям и средам являются рабочие температуры до 350 ^{0}C электронных устройств, изготовленных на её основе [11].

В целях повышения компактности и размещения контроллера на керамической подложке, где размещена сенсорная матрица, предусмотрена концепция создания многослойных керамических структур. В ней размещаются чувствительные элементы, пассивные и активные компоненты, при этом будет единый технологический цикл изготовления матрицы, контроллера, сборки устройств ввода и отображения. Данный подход также позволит снизить толщину сенсорного экрана с 0,9 до 0,65 мм.

Технология позволит интегрировать контроллер в сенсорную матрицу и избавиться от печатных плат из не подходящего для экстремальных применений стеклотекстолита. На последнем обычно размещается контроллер сенсорного устройства ввода информации (например, компании Zytronic). Благодаря такой конструкции all-in-one ёмкостные сенсорные панели станут более распространёнными на авиационном транспорте. Это обуславливает более широкое применение благодаря расширенному температурному диапазону и повышению устойчивости к внешним факторам, более высокие надёжность и массово-габаритные показатели.

Во-вторых, материалы, формирующие сенсорную матрицу, должны также функционировать в широком температурном диапазоне. Для этого были разработаны структуры различной степени проводимости: диэлектрические, резистивные, проводящие для формирования ёмкостной матрицы. При этом в этих материалах сочетаются высокие значения накапливаемой удельной электрической ёмкости за счёт инновационной конструкции сенсорного экрана и способность сопротивляться процессам реструктуризации и деградации электрофизических параметров при температурах до 350 ^{0}C.

Структурную схему ёмкостного сенсорного экрана для авионики представлена на следующем рисунке:

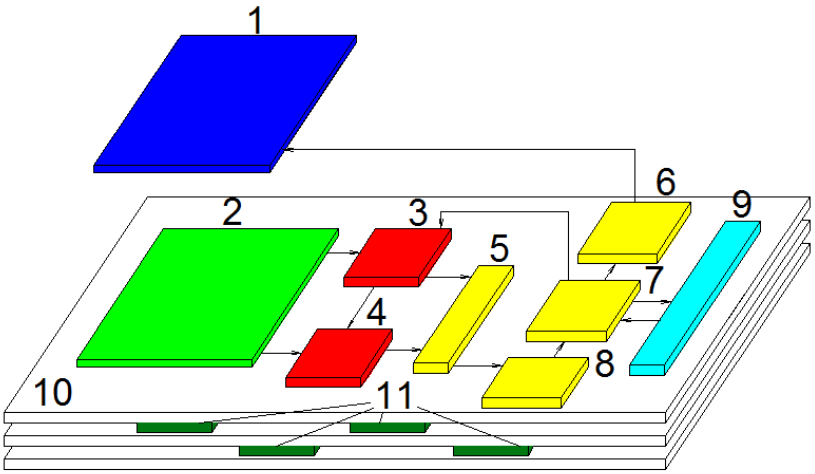


Рисунок 1 – Структурная схема ёмкостного сенсорного экрана для авионики

Ёмкостный сенсорный экран с возможностью бесконтактного ввода и распознавания жестов в пространстве для бортовой аппаратуры летательных транспортных средств, изображённый на рисунке 3, состоит из следующих блоков: средство отображения информации (1), средство ввода сенсорная матрица (2), модуль АЦП и опроса сенсорной матрицы по координатам X, Y (3) и Z (4), модуль определения координат ввода (5), модуль формирования изображения (6), устройство управления (7), блок цифровой обработки сигналов (ЦОС) (8), интерфейсный модуль (9), керамическая плата (10) и пассивные компоненты (11).

Координата Z – расстояние до сенсорной матрицы, после модуля определения координат при помощи алгоритмов ЦОС сопоставляется с координатами X и Y, и в зависимости от полученного соотношения и его изменения с течением времени распознаются различные жесты в пространстве. Соответственно, для распознавания двумерных жестов блоку ЦОС достаточно знать только значения координат X и Y. Блок ЦОС также служит для фильтрации и выделении полезной двумерной области касаний или объёмной области объекта ввода. Функция multi-touch реализуется при помощи системы из устройства управления (7) и модулей АЦП (3) и (4), причём работает в том числе и для координаты Z, благодаря чему становится возможным распознавание трёхмерных жестов.

Сенсорный ёмкостной экран для авионики способен работать как автономно, включая в себя процессор ЦОС и устройства управления, так и в качестве встраиваемой системы благодаря интерфейсному модулю передачи данных. Устройство управления также определяет в зависимости от полученной от блока ЦОС информации код изображения, которое нужно отобразить на дисплее (1), и передаёт его в контроллер последнего (6).

Пассивные компоненты: резисторы, конденсаторы, индуктивности, выполняются по большей части в межслойной пространстве LTCC-подложки в виде толстоплёночных элементов для минимизации габаритов сенсорной панели бортовой аппаратуры. Активные компоненты – микросхемы, диоды, а также интерфейсные разъёмы, средства ввода и отображения информации – в виде навесных элементов как с одной, так и с обоих внешних сторон многослойной LTCC-подложки.

3 Обеспечение надёжности разработанной сенсорно-бесконтакной бортовой панели для авионики и сравнение с аналогами

Поскольку электронная аппаратура авиационного и космического назначения должна удовлетворять высоким требованиям по надёжности в эксплуатации, то в этих целях для контроллера сенсорного экрана (выделены красным и жёлтым цветом на рисунке 1) используются программируемая интегральная логическая микросхема (ПЛИС) и SMD-компоненты специального назначения с высокой степенью устойчивости ко внешним

воздействующим факторам (выше индустриального уровня), монтируемые на керамическую LTCC-подложку. Пассивные компоненты, как уже указывалось выше, выполняются по LFC-технологии не посредственно на подложке, и способны функционировать при температурах до 350 ^{0}С. Тем не менее, не все номиналы сопротивлений, ёмкостей и индуктивностей возможно реализовать, используя такую технологию. Поэтому возможно использовать такие SMD-компоненты, как чип-конденсаторы компании Novacap, выполненные по толстоплёночной технологии, способны выдерживать рабочие температуры от -55 ^{0}С до +200 ^{0}С [12] и имеют достаточно небольшой номинал 0805, что также необходимо учитывать в целях удовлетворения требованиям авионики по массово-габаритным характеристикам. В качестве чип-резисторов – инновационный продукт от Vishay Intertechnology, обладающий рабочим температурным диапазоном -65…+175 ^{0}С [13].

Все контроллеры (определения координат касания, интерфейсов, устройства отображения) и блок цифровой обработки сигналов (ЦОС), получаемых от сенсорной матрицы, выполнены на одной микросхеме ПЛИС с расширенным температурным диапазоном, например, ProASIC3/E от компании Actel, способные функционировать от -40 ^{0}С до +135 ^{0}С [14] и стойкие к радиации и имеющие металлокерамический корпус. Это позволяет их использовать в авиационной и космической промышленности, где надёжность имеет больше значение, чем стоимость. У остальных микросхем контроллера рабочий диапазон от -40 до +125 ^{0}С.

Таким образом, разработанная бортовая сенсорная панель обеспечивает ввод информации с детектированием факта касания на основе ёмкостной технологии и корректным определением координат касания или объекта ввода (в случае бесконтактного режима) при температурах от -40 до +125 ^{0}С, а сенсорная матрица будет исправно функционировать вплоть до +175 ^{0}С. Поскольку вся элементная база, описанная выше, не коммерческого, а военного/космического назначения, то рассчитанная наработка на отказ увеличивается вдвое с 16 (по сравнению с проекционно-ёмкостным экраном DFM для мобильных электронных устройств широкого потребления [9]) до 32 лет, т.е. надёжность до 1 млрд прикосновений (при интенсивности эксплуатации 1 касание в секунду).

Последние разработки в области ультразвуковых технологий - «Chirp» от Калифорнийских университетов: Беркли и Дэвиса - представляет собой устройство бесконтактного ввода и распознавания жестов, и состоит из двухмерной матрицы акустических датчиков и миниатюрную микросхему контроллера с малым энергопотреблением, вследствие чего устройство наиболее оптимально применять в мобильных электронных устройствах. Тем не менее, это устройство не позволит управлять техникой в открытом космосе ввиду отсутствия в последнем среды, проводящей механические звуковые колебания. В отличие от «Chirp», предлагаемая ёмкостная панель сенсорно-бесконтактного ввода использует технологию распознавания координат на основе электростатических полей, что возможно для применения в космосе, а также в верхних слоях атмосферы благодаря проводимости электромагнитных волн в этих средах.

4 Практическая реализация прототипа сенсорной матрицы для бортовой панели в авионике на примере HTCC-керамики

Изготовление макета (прототипа) разработанного устройства ввода информации предполагается в два этапа: сенсорная матица с одним слоем и высокотемпературной керамикой (HTCC – high temperature co-fired ceramics) с АЦП на печатной плате для проверки практической реализуемости научной концепции, и сенсорная матрица с многослойной LTCC-керамикой с интегрированным АЦП для достижения конечного результата.

Результат изготовления пробной партии прототипов из HTCC-керамики представлен на рисунке 2. Измерение электрофизических параметров сенсорных матриц производилось при помощи их подключения к источнику питания через модуль расширения (макетная

платы) отладочного комплекса ПЛИС (Рисунок 3) таким образом, что положительный полюс источника питания был подключён к верхнему сегменту матрицы, а отрицательный к нижнему. На рисунке продемонстрировано измерение напряжения после работоспособного сегмента при приближении электропроводящего тела второй строки шестого столбца сенсорной матрицы. Измеренные электрические ёмкости каждого из не бракованных сенсорных сегментов соответствует рассчитанной теоретически - 10 нФ с погрешностью 10%, напряжение 3.22..3.24 В.

Рисунок 2 – Прототипы ёмкостной сенсорной матрицы из керамики НТСС для бортовой панели управления летательными транспортными средствами

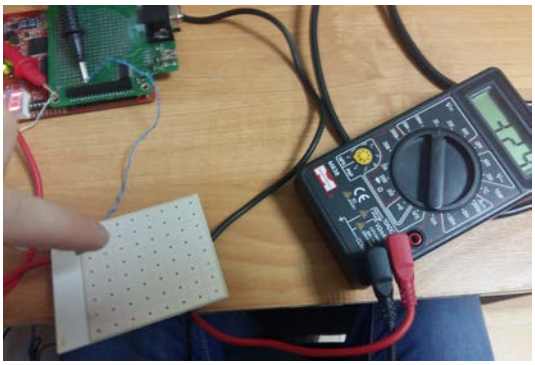


Рисунок 3 – Измерение электрофизических параметров ёмкостной сенсорной матрицы из керамики НТСС

Процент выхода годных составил порядка 80% ввиду того что по первой подложке выполнялось совмещение трафарета, а вторая треснула при подборе оптимальных параметров (температура, время, расположение в печи) при термической обработке. Кроме того, в среднем в каждой из матриц порядка 24% работающих сенсорных сегментов.

Заключение

Отличиями данного решения от перечисленных во введении является как новый функциональный уровень разработанного устройства ввода информации в электронной бортовой аппаратуре для летательных транспортных средств (распознавание жестов в пространстве, бесконтактный ввод), так и инновационная материально-техническая и технологическая база сенсорных экранов специального назначения, способных функционировать в жёстких внешних условиях, характерных для авиации. Разработанное устройство возможно применять в летательных аппаратах военного и гражданского назначений, производимых как авиационной, так и космической промышленностью. Особенностью данного ёмкостного сенсорно-бесконтактного экрана является принципиально иная концепция структуры и функционирования устройств ввода информации.

Возможность распознавания жестов без применения дорогостоящих и крупно-габаритных оптических и инфракрасных технологий позволит реализовать удобный и эффективный интерфейс управления электронно-вычислительной и радиоэлектронной бортовой аппаратурой летательных транспортных средств, не только удовлетворяющий требованиям авионики (высокая износоустойчивость, чистота и высокое качество изображения на индикаторах вследствие отсутствия контакта с механизмами управления и сенсорным экраном), но и способным сделать возможным управление на расстояние робототехникой, находящейся, например, за пределами салона космического корабля, или беспилотными летательными аппаратами. При этом это оборудование будет более конкурентноспособным и эффективным по сравнению с другими аналогами как с технической, так и с экономической точки зрения.

Литература

1. Александр Самарин. Модули ЖК-дисплеев для авионики // Компоненты и технологии. 2005, № 3. - С. 56-62.
2. Электронный ресурс. Режим доступа: http://helico-russia.ru/news/436/ - Проверено 30.04.2015.
3. Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.ato.ru/content/rockwell-collins-nachala-letnye-ispytaniya-pervogo-sensornogo-ekrana-poletnoy-informacii - Проверено 30.04.2015.
4. Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.helicopter.su/pressa/novosti/2012/11/01/aw609_osnastyat_novejshej_avionikoj_pro_line_fusion/ - Проверено 3.05.2015.
5. Электронный ресурс. Режим доступа: http://lux-flights.com/29-hawker-900xp.html - Проверено 3.05.2015.
6. Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.jcnews.ru/news/curtiss_wright_vyipustila_21_5_dyuymovyiy_displey_dlya_avioniki/20063 - Проверено 3.05.2015.
7. Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/doc/59472/ - Проверено 15.05.2015.
8. Д.С.Терентьев, А.А.Демин. Альтернативная технология изготовления сенсорного емкостного экрана // Датчики и Системы. - 2013. - №9. - С.56-63.
9. Власов А.И., Терентьев Д.С., Токарев С.В. Проекционно-ёмкостной сенсорный экран для встраиваемых мобильных систем // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2013. № 1. - С. 16 - 26.
10. Кацухико Нака. LFC-технология производства керамических подложек для автомобильной промышленности // Компоненты и технологии. 2007, № 5. - С. 56-62.
11. Чигиринский С.А. Особенности и преимущества многослойных структур на основе керамики (LTCC, HTCC, MLCC). // Компоненты и технологии. 2009, №11. – С. 130-131.
12. Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.knowlescapacitors.com/novacap/en/gn/products/high-temperature/class-ii-high-temp-200c - Проверено 4.06.2015.
13. Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.rlocman.ru/news/new.html?di=112904 - Проверено 4.05.2014.
14. Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.russika.ru/ef.php?s=4495 - Проверено 4.06.2015.
15. Электронный ресурс. Режим доступа: http://mobileimho.ru/mnews/2014/04/12/au-optronics-povyshennaya-plotnost-organicheskih-pikseley.html - Проверено 12.10.2015.
16. Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.dailycomm.ru/m/26532/ - Проверено 12.10.2015.
17. Электронный ресурс. Режим доступа: http://compulenta.computerra.ru/tehnika/devices/10009867/ - Проверено 12.10.2015.
18. Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.display-central.com/free-news/display-daily/chirp-microsystems-to-focus-on-ultrasound-user-interface/ - Проверено 12.10.2015.
19. Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.hardwareluxx.ru/index.php/news/consumer-electronics/handys/30183-au-optronics-begins-oled-production-with-57-inch-and-1440-p.html - Проверено 12.10.2015.
20. Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.e-field.biz/articles/hi-tech/technology-gestic.htm - Проверено 12.10.2015.

Работа выполнена при частичной поддержке
Договора № 223ГС1/8735 от 29.12.2014
«Фонда Содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере»

МОДУЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Азябин С.В., Пашинский И.О.
Научный руководитель: к.т.н., доцент В.В. Макарчук
МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия

STEPPER MOTOR CONTROL MODULE

Azyabin S.V., Pashinskiy I.O.
Supervisior: Ph.D. V.V. Makarchuk
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация. Работа посвящена вопросам разработки отечественного модуля управления биполярным шаговым двигателем. В ходе работы проведен патентный поиск, разработана электрическая принципиальная схема модуля, разработаны и изготовлены печатная плата модуля и ИС управления на базе аналого-цифрового БМК, выбран конструктивно-технологический вариант реализации в виде микромодуля. Разрабатываемое устройство является стойким к воздействию специальных факторов, и может применяться в составе приводов бортовой аппаратуры космических аппаратов (БА КА).
Ключевые слова: биполярный шаговый двигатель, привод, микромодуль, БМК, бортовая аппаратура.

Abstract. This article is devoted to design of home-manufacturing control module for bipolar stepper motor. During the work patent research was performed, an electric circuit of the module was developed, IC-controllerbased on analog-digital gate array and PCB of module were designed and manufactured, structural and technological embodiment as micro-module were selected. The device is resistant to the effects of special factors, and can be used as part of spacecraft equipment.
Keywords: bipolar stepper motor, micro-module, gate array circuit, on-board equipment.

Введение

Работа посвящена вопросам разработки отечественного модуля управления биполярным шаговым двигателем.

Актуальность работы определяется необходимостью создания отечественного компактного функционально-законченного модуля управления шаговым двигателем, стойкого к воздействию специальных факторов. Данный модуль может применяться для управления приводом исполнительных механизмов, входящих в состав бортовой аппаратуры космических аппаратов.

Целью работы является разработка и изготовление модуля управления шаговым двигателем.

Для достижения заявленной цели был выполнен ряд задач: проведен патентный поиск, разработана электрическая принципиальная схема модуля, разработана и изготовлена печатная плата модуля, разработана и изготовлена ИС управления на базе аналого-цифрового БМК, был выбран конструктивно-технологический вариант реализации в виде микромодуля.

Результатом представленной работы является изготовление макета модуля управления шаговым двигателем и исследование его характеристик. Полученные в ходе исследования макета модуля данные представлены ниже.

В дальнейшем, по результатам исследований макета, планируется внести изменения в электрическую принципиальную схему модуля, разработать топологию платы и осуществить изготовление опытного образца модуля управления шаговым двигателем в компактном исполнении.

Патентный поиск

Модуль управления шаговым двигателем предназначен для применения в составе приводов, в том числе в БА КА.

Из уровня техники известно устройство для управления шаговым двигателем [1]. Однако алгоритм работы реализован на корпусных дискретных ИС, что увеличивает

массогабаритные показатели. Также известно устройство для управления шаговым двигателем [2], включающее транзисторные ключи, микросхему-драйвер и микроконтроллер. Тем не менее, устройство не реализует автоматическую регулировку уровня тока в обмотках двигателя, возможность управления двигателем в режиме дробного шага. Кроме того, оба аналога не являются стойкими к воздействию ДФКП, что не позволяет использовать их в БА КА.

Наиболее близким аналогом является ИС драйвера для биполярного шагового двигателя L6228 французской фирмы STMicroelectronics [3].

Разработанный модуль управления шаговым двигателем может работать в режиме совместимости с контроллером L6228, в котором он полностью соответствует интерфейсу управления данного контроллера и реализует схему управления двигателем в режимах полного и дробного шага, в режимах прямого и обратного вращения двигателя, схему автоматической регулировки уровня тока в обмотках двигателя. При этом в расширенном интеллектуальном режиме модуль обладает дополнительными функциями разгона и торможения, возможностью выбора рабочей частоты, времени разгона и торможения, а также более, чем в два раза увеличенным током нагрузки, расширенным рабочим температурным диапазоном и стойкостью к воздействию ДФКП.

Данные требования выполняются за счет того, что разрабатываемое устройство реализовано на отечественной элементной базе в бескорпусном исполнении, стойкой к ДФКП, при этом возможность гибкого управления режимами работы шаговых двигателей посредством силовых ключей схемы Н-моста обеспечивает интегральная схема, реализованная на базовом матричном кристалле.

Принцип работы Н-моста

Для непосредственного управления движением вала шагового двигателя применяется схема, называемая Н-мостом [4]. Н-мост дает возможность приложить напряжение к нагрузке в разных направлениях. Схема Н-моста представлена на рисунке 1.

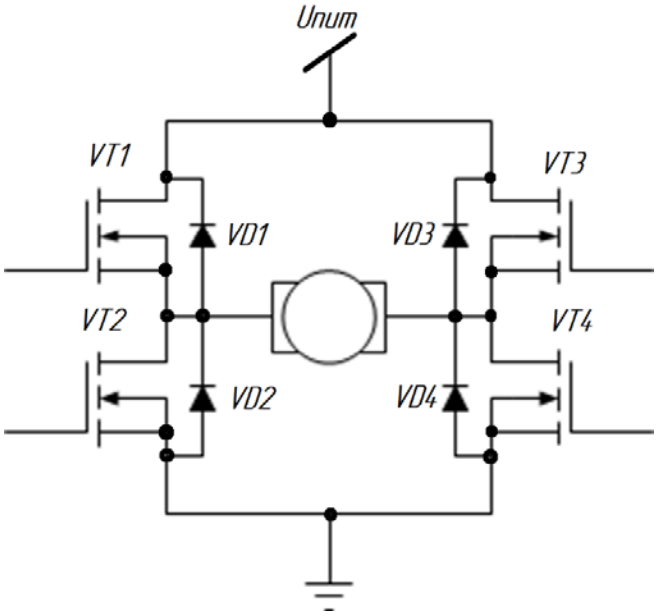


Рисунок 1 – Схема Н-моста

Движение вала двигателя происходит благодаря подаче фаз прямоугольного сигнала на ключи Н-моста в определенной последовательности.

Нужно заметить, что ключи VT1 и VT2 или VT3 и VT4 не могут быть открыты одновременно, т.к. это приводит к короткому замыканию источника питания и выходу их из строя. Для защиты от одновременного открытия верхнего и нижнего ключей при

переключении между диагоналями вводят период Deadtime – время задержки между отключением одного из транзисторов полумоста и включением другого.

Функциональная схема модуля управления шаговым двигателем

Модуль управления шаговым двигателем обладает следующими основными характеристиками:

- напряжение питания силовых цепей– не более 36В;
- напряжение питания цифровой и аналоговой части модуля – 12В±10% на канал
- ток нагрузки (обмотки) – не более 3,5А;
- ток потребления цифровой и аналоговой части модуля – не более 50мА на канал
- функция ограничения тока в обмотках шагового двигателя;
- функция управления направлением вращения шагового двигателя;
- функция управления режимами разгона и торможения;
- режим шаг/полушаг;
- КМОП 3,3В-совместимый уровень цифровых сигналов;

При этом, в отличие от зарубежного аналога, микромодуль может работать в расширенном интеллектуальном режиме, обеспечивающем дополнительные функции: возможность выбора рабочей частоты, времени разгона и торможения.

Функциональная схема устройства представлена на рисунке 2.

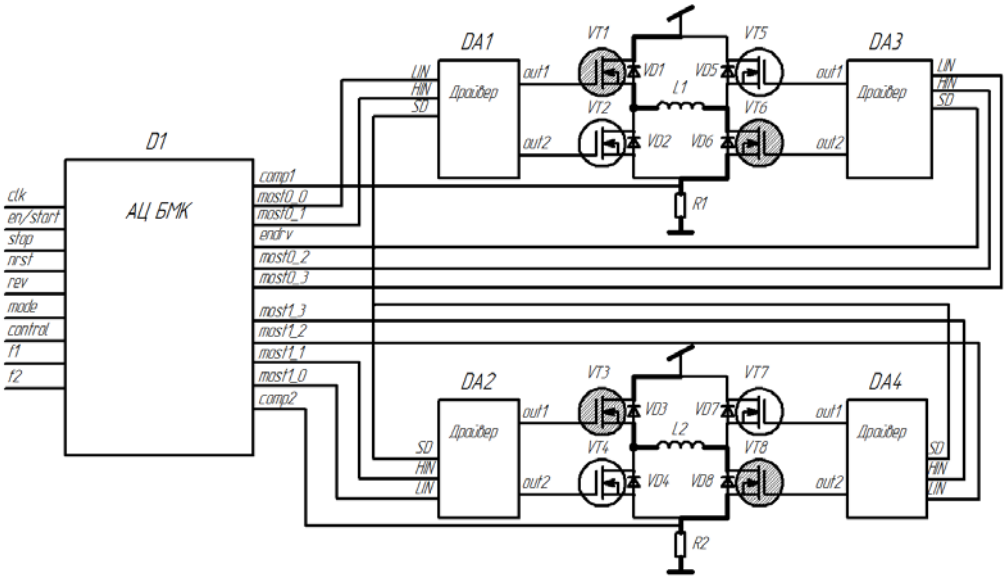


Рисунок 2 – Функциональная схема модуля управления шаговым двигателем

В состав модуля управления шаговым двигателем входят следующие элементы (рисунок 2):

- интегральная схема D1, реализующая алгоритмы цифрового управления;
- драйверы полевых транзисторов DA1..DA4;
- силовые полевые транзисторы VT1..VT8;
- силовые диоды VD1..VD8;
- линейные стабилизаторы напряжения +5В, +3,3В.

(Обмотки шагового двигателя L1, L2, резисторы обратной связи R1, R2 на функциональной схеме показаны условно).

Алгоритм, заложенный в ИС D1, осуществляет преобразование входного тактового сигнала clkдля последующей подачи управляющих сигналов на драйверы DA1..DA4, управляющие полевыми транзисторами. Данный алгоритм подробно рассмотрен в [5]. Преобразование логического уровня ИС КМОП 3,3В в логический уровень драйверов +5В осуществляется восьмиканальным преобразователем уровня, выполненном в составе микросхемы D1.

Драйверы DA1..DA4 осуществляют управление транзисторами, входящими в состав Н-мостов. Каждый полумост, состоящий из пар силовых полевых транзисторов VT1 и VT2, VT3 и VT4, VT5 и VT6, VT7 и VT8 управляется одним драйвером DA1..DA4, соответственно.

Анализ логики работы модуля управления шаговым двигателем

Рассматриваемый модуль предназначен для управления биполярным шаговым двигателем, имеющим две обмотки [6-10]. Для управления вращением двигателя необходимо периодически изменять направление тока через обмотки L1 и L2. С этой целью поочередно включаются диагонали VT1-VT6, VT2-VT5 первого и VT3-VT8, VT4-VT7 – второго Н-моста.

Для защиты от превышения тока в обмотках двигателя, использован алгоритм «Slow Decay» (режим медленного затухания тока) (рисунок 3).

При превышении порогового значения тока в обмотках шагового двигателя, на выходе компаратора формируется высокий логический уровень, и далее он подается на вход управляющего модуля. Фронт этого сигнала инициирует процесс медленного затухания тока. Указанный алгоритм состоит из трех периодов:

1. Deadtime –период длительностью 1мкс, в течение которого отключается верхний транзистор активной диагонали.
2. Delay – период рециркуляции тока в нижнем полумосте длительностью 40мкс.
3. Deadtime – период длительностью 1мкс, в течение которого отключается нижний транзистор активной диагонали.

До и после срабатывания защиты от превышения тока в обмотках модуль работает в номинальном режиме.

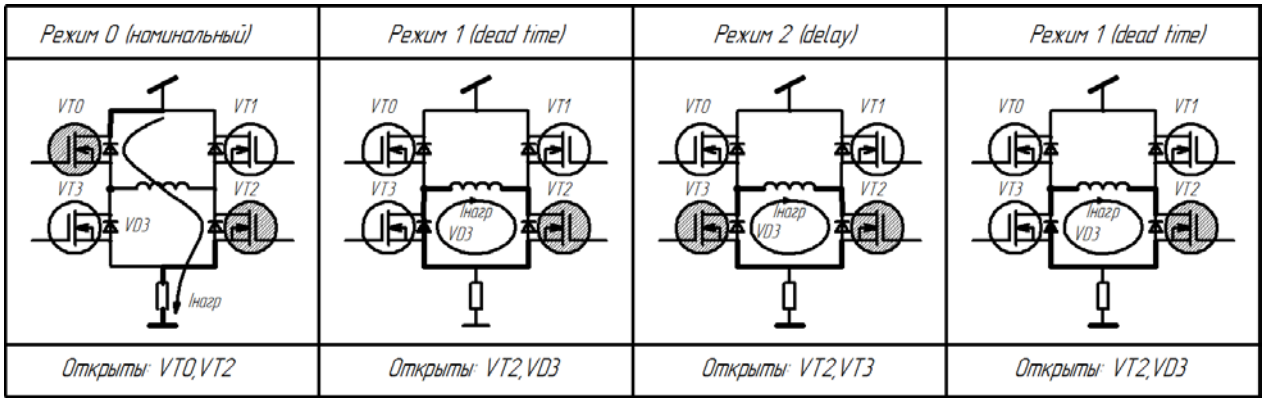


Рисунок 3 – Реализация защиты от превышения тока в обмотках двигателя.

Длительность указанных периодов задается цепями задержки, состоящими из конденсаторов, буферов и триггеров Шмидта.

Исследование характеристик макетного образца модуля управления шаговым двигателем

На рисунке 4 показан внешний вид макетного образца модуля управления шаговым двигателем.

Макет модуля управления шаговым двигателем выполнен на печатной плате с использованием отечественной элементной базы в корпусном исполнении. Макет изготовлен с целью функционального тестирования ИС модуля, электрической принципиальной схемы модуля, и их отладки для последующего изменения при разработке опытного образца.

На рисунке 5 показан внешний вид рабочего места, где проводилось исследование характеристик макетного образца модуля управления шаговым двигателем.

В ходе работы были исследованы следующие параметры работы модуля управления шаговым двигателем:

– переключение модуля между режимами шаг (рисунок 6) и полушаг (рисунок 7);
– работа задержки deadtime (рисунок 8);
– работа алгоритма «slowdecay»схемы защиты по току (рисунок 9);
– длительности задержек «slowdecay»схемы защиты по току (рисунок 10).

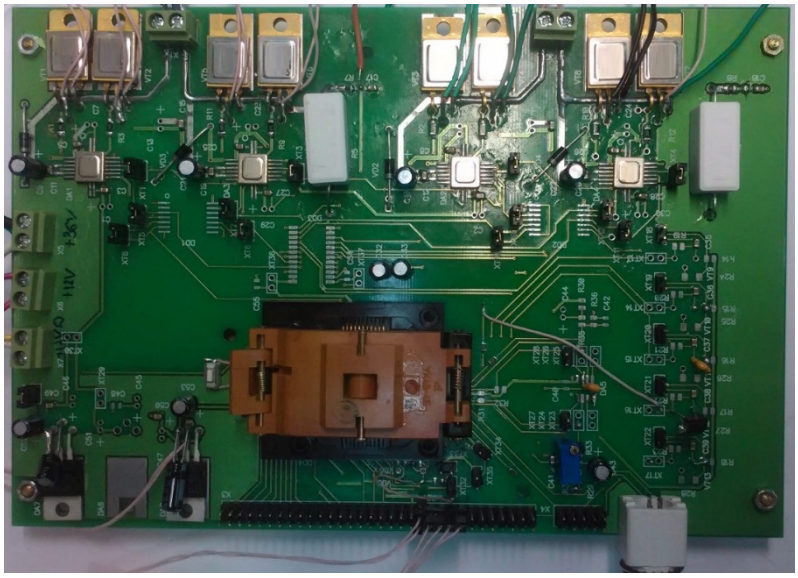


Рисунок 4 –Внешний вид макетного образца модуля управления шаговым двигателем

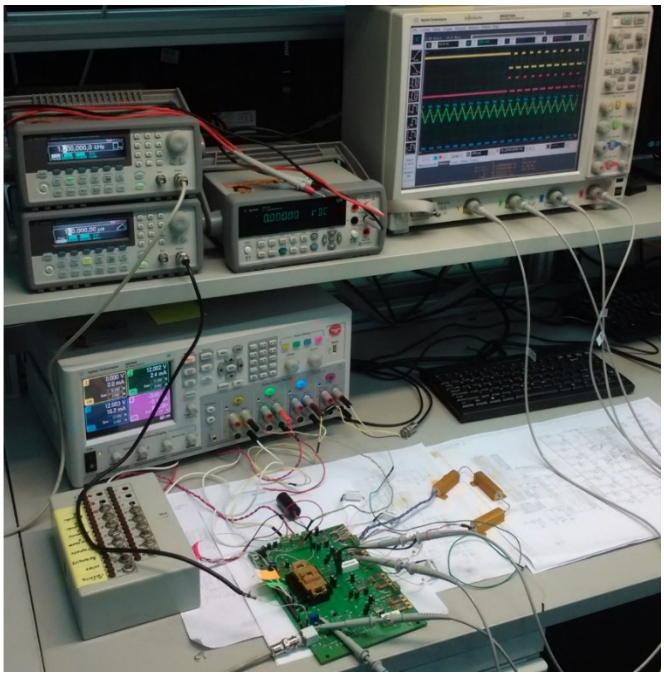


Рисунок 5 –Внешний вид рабочего места

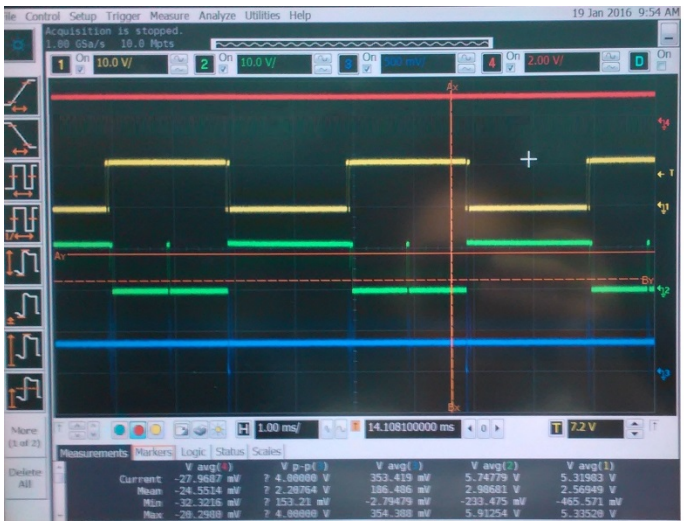


Рисунок 6 – Переключение модуля управления шаговым двигателем между режимами шаг и полушаг. Режим шаг (mode = «1»)

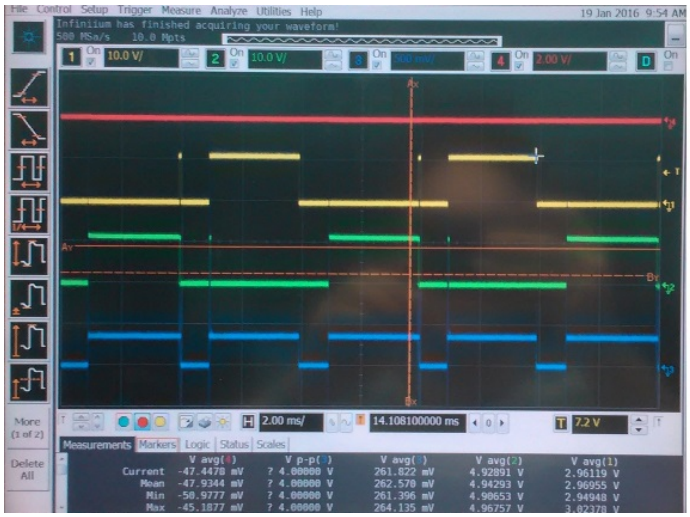


Рисунок 7– Переключение модуля управления шаговым двигателем между режимами шаг и полушаг. Режим полушаг (mode = «0»)

Осциллограммы, представленные на рисунках 6 и7, показывают, что модуль способен работать в режимах шаг, полушаг и переключаться между ними по управляющему сигналуmode.

Рисунок 8 – Работа задержки Deadtime модуля управления шаговым двигателем

Осциллограммы, представленные на рисунке 8, показывают, что при переключении между верхним и нижним транзистором модуль обеспечивает задержку deadtime на время 1,4 мкс.

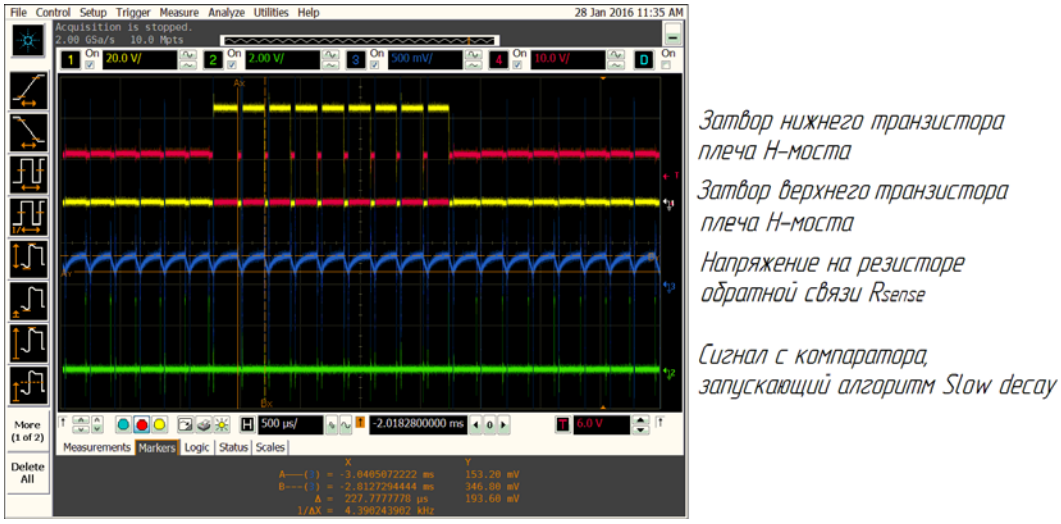


Рисунок 9 – Работа алгоритма «slowdecay»модуля управления шаговым двигателем

Осциллограммы, представленные на рисунке 9, показывают, что, при достижении напряжения на резисторе R_{sense} опорного уровня, компаратор обратной связи запускает выполнение алгоритма защиты по току «Slowdecay», в течение которого отключается верхний транзистор активной диагонали Н-моста, и включается нижний транзистор. Длительности задержек этого алгоритма представлены на рисунке 10.

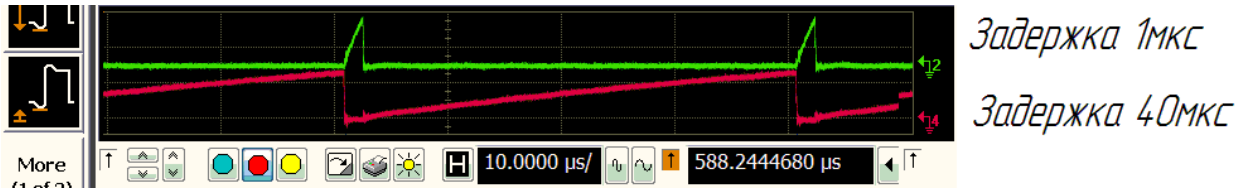


Рисунок 10 – Длительности задержек «slowdecay»схемы защиты по току

Анализируя результаты, можно сделать вывод о том, что модуль полностью обеспечивает требуемый функционал, его характеристики удовлетворяют предъявляемым требованиям.

Заключение

В ходе проведенной работы был проведен патентный поиск, разработана электрическая принципиальная схема модуля, разработана и изготовлена ИС управления на базе аналого-цифрового БМК. Разработан и изготовлен макет модуля управления шаговым двигателем и проведено исследование его характеристик. Полученные в ходе исследования макета модуля данные показывают, что модуль полностью обеспечивает требуемый функционал, его характеристики удовлетворяют предъявляемым требованиям.

В дальнейшем планируется разработать топологию платы и осуществить изготовление опытного образца модуля управления шаговым двигателем в компактном исполнении.

Литература

1. Патент РФ на изобретение RU 2125762 C1, H02P 8/20, 27.01.1999
2. Патент РФ RU 2373629 C1, H02P 8/20, G01J3/12, G01J3/18, 06.05.2008
3. L6228 [Электронный ресурс] URL: http://www.st.com/web/catalog/sense_power/FM142/CL851/SC1794/SS1554/LN1721/PF75168. Дата последнего обращения: 31.01.2016.
4. Кенио Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления. – М.: Мир, 1987.
5. Азябин С.В., Бумагин А.В. Разработка отечественного модуля управления исполнительным механизмом стойкого к воздействию специальных факторов // Цифровая обработка сигналов: Научно-технический журнал. - Москва, РНТОРЭС имени А.С. Попова, №1, 2016.
6. Анхимюк В.Л., Опейко О.Ф. Проектирование систем автоматического управления электроприводами. – Минск: Высшая школа, 1986.
7. Азябин С.В., Пашинский И.О., Юдин А.В. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР С ПРЯМЫМ ЦИФРОВЫМ СИНТЕЗОМ ЧАСТОТЫ // Наука и Мир. 2014. Т. 1. № 5 (9). С. 69-75.
8. Vlasov A., Yudin A. DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM IN MOBILE ROBOT APPLICATION: GENERAL APPROACH, REALIZATION AND USAGE // Communications in Computer and Information Science. 2011. Т. 156 CCIS. С. 180-192.
9. Антохин А.И., Власов А.И., Косолапов И.А. КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ НА БАЗЕ МЭМС ГИРОСКОПА // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. № 10. С. 51.
10. Мысловский Э.В. ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ - Москва, Радио и связь. 1988.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Белов Н.А.[1], Шеин В.А.[2]
Научный руководитель: ассистент, Леонидов В.В.
[1]МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия
[2]ОАО «НПП «Пульсар», Москва, Россия

DESIGN OF AUTOMATED MEASUREMENT SYSTEM FOR ELECTRONIC DEVICES

Belov N.[1], Shein V.[2]
Supervisor: assist., Leonidov V.
[1]MSTU, Moscow, Russia
[2]JSC «Pulsar», Moscow, Russia

Аннотация
В данной статье рассмотрен основной подход к организации систем автоматизированного измерения параметров радиоэлектронной аппаратуры, в частности, программная реализация, позволяющая обеспечить необходимые быстродействие и стабильность обмена данными при проведении как наладочных, так и приёмо-сдаточных испытаний устройств, а также облегчить труд разработчика при необходимости внедрения нового оборудования в систему.

Abstract
This article is discussed the main approach for the organization of the automated measurement systems. Special attention is paid to software implementation of this that allows to provide the necessary performance and stability of the data exchange during both commissioning and takeover tests, as well as to facilitate the work of the developer in case of introduction of new equipment.

Введение

В серийном и массовом производстве радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) необходимо обеспечить автоматизированные рабочие места для наладки и приёмо-сдаточных испытаний выпускаемых устройств. Для решения этой задачи используются системы автоматизированного измерения параметров РЭА. Примером такой системы является аппаратно-программный комплекс автоматизированного измерения параметров СВЧ модулей вторичной радиолокации, структурная схема которого приведена на рисунке 1.

В состав рассматриваемой системы входят: ПК с установленным программным обеспечением (ПО); центральный блок измерительного стенда (ЦБИС), соединенный с ПК через USB-концентратор; устройства обеспечения рабочего режима модуля (блоки питания, задающие генераторы); измерительное оборудование (измерители фаз, мощности, анализатор спектра, осциллограф); устройства согласования (аттенюаторы, нагрузки, коммутатор); усилители.

Центральный блок измерительного стенда состоит из одного интерфейсного и до шестнадцати периферийных модулей. Интерфейсный модуль инициирует управление и сбор информации с периферийных устройств, а также осуществляет обмен данными с ПК [1]. Периферийными модулями могут быть измерительные, управляющие и коммутирующие устройства. Обмен данными между интерфейсным и периферийными модулями осуществляется по шине I^2C. Состав ЦБИС может варьироваться в зависимости от требований, предъявляемых к системе автоматизированного измерения и СВЧ модулю.

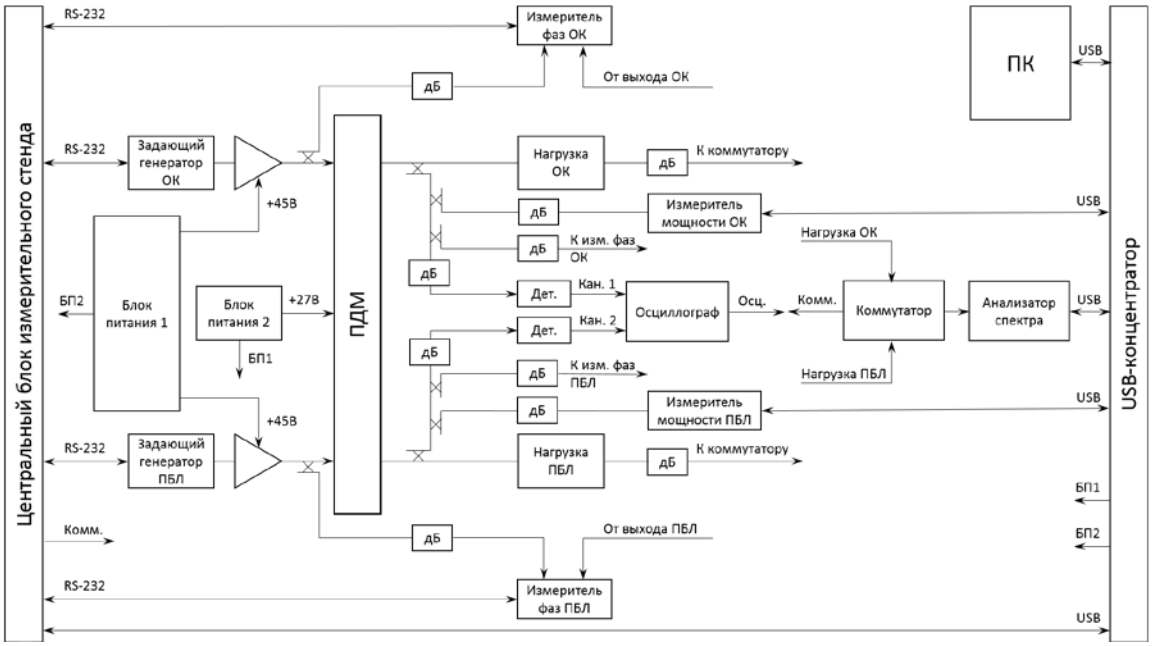


Рис. 1. Структурная схема системы автоматизированного измерения параметров СВЧ модулей вторичной радиолокации

В состав комплекса входит оборудование, соединяющееся с ПК через USB-концентратор. Однако, для измерения параметров РЭА может использоваться оборудование, в котором обмен с ПК осуществляется по интерфейсам Ethernet, RS-232/485, IEEE-488 (GPIB), и т.д. Измерительное оборудование, применяемое в данном стенде, использует стандартизованный интерфейс ввода-вывода VISA (Virtual Instrument Software Architecture – виртуальная инструментальная программная архитектура) для обмена данными с ПК. Реализация VISA представляет собой библиотеку функций для языков C/C++/C#, Visual Basic и G, которые унифицируют доступ ко всем измерительным устройствам, независимо от используемого протокола и аппаратуры.

Особенности взаимодействия с оборудованием необходимо учитывать при разработке ПО системы автоматизированного измерения параметров РЭА. Ниже сформулированы основные задачи, которые должны быть решены разработчиком:

– обеспечение быстродействия системы при обмене данными между оборудованием и ПК с использованием систем ЦОС [3, 4];

– обеспечение оперативного доступа к интерфейсу ПО системы в любой момент времени;

– обеспечение стабильности обмена данными между ПК и оборудованием измерительного комплекса;

– обеспечение масштабируемости ПО для использования в других проектах.

Разработка программного обеспечения

Быстродействие системы является одним из основных аспектов, на которые необходимо уделять внимание разработчику при проектировании ПО. Обеспечение быстродействия является сложной задачей ввиду обилия измерительного и управляющего оборудования в составе системы. Для решения данной задачи можно использовать асинхронный обмен данными между ПК и оборудованием. Реализация асинхронного обмена возможна за счет использования отдельных потоков процессора ПК для работы с различными устройствами. В случае с VISA-устройствами реализация подхода не составляет большого труда, поскольку каждый из них соединен непосредственно с ПК и не зависит друг от друга. Взаимодействие с периферийными модулями ЦБИС осуществляется через интерфейсный модуль, что затрудняет использование отдельных потоков. Блокировка

выполнения потоков на время обмена с отдельным периферийным устройством приведет к тому, что приостановленные процессы будут возобновлены в порядке, определяемом процессором, который может не соответствовать логике работы системы в целом.

Сохранение порядка обмена данными между ПК и периферийными модулями при использовании отдельных потоков процессора осуществляется за счет введения асинхронной очереди, реализованной по принципу FIFO (First In – First Out, «Первым вошел – первым обслужен»). Такую очередь можно реализовать посредством использования специального класса, предоставляющего возможности блокировки и ограничения потокобезопасных коллекций и самих коллекций, обслуживаемых по принципу FIFO, поддерживающих операции вставки, изменения и удаления данных из различных потоков [2]. Операции блокируются при опустошении или заполнении коллекции. Визуальное представление очереди представлено на рисунке 2.

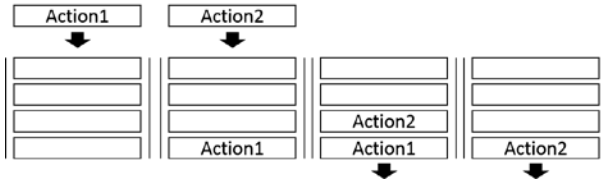


Рис. 2. Асинхронная FIFO-очередь

Обмен данными с устройствами целесообразно отделять от интерфейса ПО системы. Создание потока для работы с интерфейсной формой ПО позволит получать доступ к ней в любой момент времени, независимо от быстродействия выполняемых управляющих инструкций, измерений и т.д. При таком подходе необходимо обеспечить безопасный доступ из потоков измерения и управления к потоку, в котором осуществляется работа с интерфейсом. Использование ранее описанных методов позволяет совершать операции над интерфейсом формы, не вызывая исключительных ситуаций при одновременном доступе к нему из нескольких потоков.

Немаловажной задачей при разработке программного обеспечения является обеспечение целостности отправляемых и принимаемых данных. В большинстве VISA-устройств и модулей ЦБИС предусмотрена процедура квитирования, гарантирующая ответ на любую поступившую команду от ПК. Однако в процессе обмена могут происходить сбои, связанные с рассинхронизацией канала, электрическими помехами и другими воздействиями на среду обмена, приемник или передатчик. В результате данные могут либо не дойти до получателя, либо содержать ошибки. Отсутствие обработки таких исключительных ситуаций может привести к нарушению работы ПО, измерительного комплекса, либо непосредственно испытуемой РЭА.

Повторное выполнение программных инструкций при возникновении подобных сбоев позволит избежать остановки работы системы, если возникшая ситуация единичная и не требует мер для ее устранения. Выявление ошибок производится на основе подсчета контрольных сумм LRC, либо CRC.

В системе автоматизированного измерения параметров РЭА наряду с единичными сбоями возможны отказы, связанные с выходом из строя отдельных ее узлов. Точно визуально определить неисправное устройство не всегда представляется возможным. Для регистрации сбоев и отказов используется специальная функция библиотеки логирования. Данная функция позволяет зарегистрировать в специальном журнале код ошибки оборудования и действие, которое предшествовало ее возникновению.

Для масштабирования ПО для различного рода РЭА и соответствующего им ряда измерительных и управляющих систем, рационально представить вышеуказанные решения в специальные библиотеки. На рисунке 3 изображена реализация библиотеки для работы с ЦБИС в виде диаграммы классов.

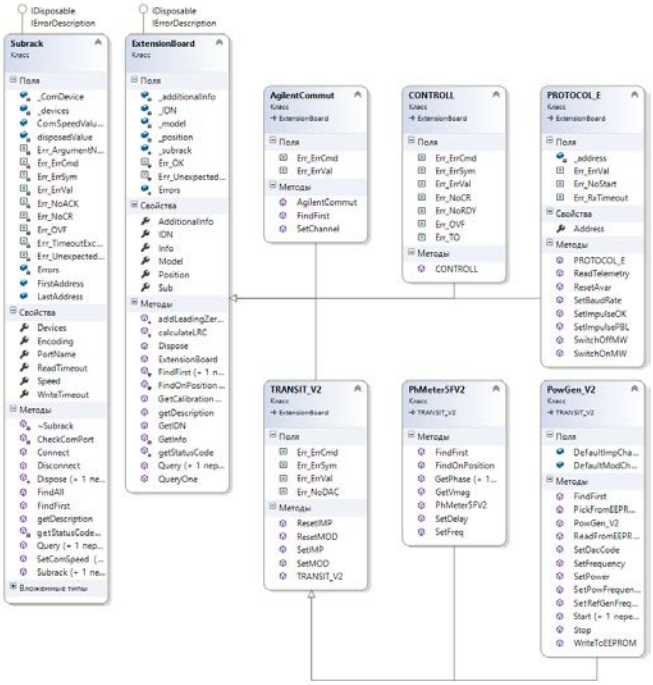


Рис. 3. Диаграмма классов библиотеки взаимодействия с устройством управления системы автоматизированного измерения параметров СВЧ аппаратуры

Класс ExtensionBoard содержит общие свойства и методы для всех периферийных модулей, а специфические для каждого модуля функции реализуют классы, являющиеся наследниками ExtensionBoard. Данное решение позволяет программисту оперативно включить новое оборудование в состав измерительного стенда, добавив отдельный класс-потомок от ExtensionBoard с набором специфичных функций, что позволит сэкономить время при разработке программного обеспечения для новых проектов.

Выводы

Рассмотренные подходы к проектированию программного обеспечения систем автоматизированного измерения параметров РЭА позволяет получить высокое быстродействие при обмене между управляющим и измерительным оборудованием и ПК, контролировать целостность принимаемых и отправляемых данных, а в случае ее нарушения – фиксировать отклонения в специальном журнале. Данные решения успешно применяются на ведущих предприятиях-разработчиках СВЧ радиоэлектроники, таких как ОАО «НПП «Пульсар» и других.

Литература

1. Леонидов В.В., Гуляев И.Б., Колчин Г.С. Программно-аппаратная платформа автоматизированного измерения параметров электронных модулей и полупроводниковых приборов // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. 2011. С. 89-97.
2. BlockingCollection(T) - класс (System.Collections.Concurrent) [Электронный ресурс]. URL: https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/dd267312(v=vs.110).aspx
3. Мысловский Э.В., Власов А.И., Меньшов К.А. ЦИФРОВЫЕ СИГНАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССОРЫ С ПЛАВАЮЩЕЙ ТОЧКОЙ СЕМЕЙСТВА ADSP2106X: Учебное пособие - Москва, МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2003. Том 3. 75 с.
4. Мысловский Э.В., Власов А.И., Кузнецов А.С. ЦИФРОВЫЕ СИГНАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССОРЫ С ФИКСИРОВАННОЙ ТОЧКОЙ СЕМЕЙСТВА ADSP21XX: Учебное пособие - Москва, 2003. Том 2. 75 с.

УСЛОВИЯ И МЕХАНИЗМЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СБОЕВ В ЭЛЕМЕНТАХ БИБЛИОТЕКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СБИС

Дельцов И. Л.
Научные руководители: к.т.н., доцент Макарчук В.В.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Российская Федерация
Руководитель группы проектирования ИМС Морозов С.А.
ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Российская Федерация

CONDITIONS AND MECHANISMS OF FAILURES OCCURRENCE IN CELLS OF LIBRARIES FOR VLSI DESIGN

Deltsov I. L.
Supervisors: candidate of technical science, reader Makarchuk V.V.
MSTU named after N.E. Bauman, faculty IU4, Moscow, Russia
Head of group of design IC Morozov S.A.
SRI of System Analysis RAS, Moscow, Russia

Аннотация
Рассмотрены механизмы генерации носителей зарядов в объеме КНИ МОП-транзистора. Описаны процессы и условия, приводящие к сбоям в цифровых комбинационных и последовательных узлах. Представлены последствия от эффектов однократного воздействия тяжелой заряженной частицей на элементы библиотеки для проектирования КНИ КМОП СБИС.

Abstract
The mechanisms of generating charge carriers in the bulk of the SOI MOSFET are considered. The processes and conditions leading to faults in digital combinational and sequential nodes are described. Consequences of the single event effects caused by heavy charged particles on the library cells for the SOI CMOS VLSI design are presented.

Введение

После проведения моделирования элементов библиотеки проектирования СБИС, по разработанной методологии [1] и получения результатов в различных условиях воздействия тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ) на полупроводниковую структуру, можно описать механизмы, происходящие при этих воздействиях, и выявить уязвимые места в схемотехнике стандартных элементов библиотеки проектирования СБИС. Это позволит предложить меры по защите, увеличению сбоеустойчивости и надежности этих элементов, при их работе в составе электронной аппаратуры, работающей в условиях космического пространства [2].

В настоящей статье приводятся описание механизмов и эффектов, происходящих в МОП-транзисторах при воздействии на них ТЗЧ, общие сведения о процессах генерации свободных зарядов в полупроводнике, за счет прямой и косвенной ионизации. Описаны условия, при которых эффект однократного действия (ЭОД) приводит к различным возможным последствиям для цифрового узла.

1 Общие сведения о механизмах генерации свободных зарядов в полупроводниках

Можно говорить о двух основных механизмах высвобождения свободных зарядов в объеме полупроводника при пролете через него ТЗЧ, которые могут привести к сбоям в работе элементов СБИС:

- прямая ионизация, возникающая при непосредственном пролете ТЗЧ;
- ионизация вторичными частицами, возникающими в результате ядерных реакций между пролетающей ТЗЧ и объемом полупроводника.

ТЗЧ, пролетая сквозь объем полупроводника и теряя при этом свою энергию, на своем пути генерирует электронно-дырочные пары. Этот процесс называют прямой ионизацией. Путь, который преодолела частица в полупроводнике до того момента, как полностью потеряла свою энергию, называют треком частицы. Энергия частицы или иона тратится на взаимодействие с атомами кристаллической решетки полупроводника, приводя к их возбуждению, ионизации и образованию плазмы вдоль трека, состоящей из электронно-дырочных пар. Величина энергии, расходуемая на торможение в объеме полупроводника и теряемая частицей или ионом на единице ее пути и количественно характеризующая прямую ионизацию, называется линейной потерей энергии, *Linear Energy Transfer* (LET). Величина энергии, переданной ТЗЧ, и, следовательно, сгенерированного в полупроводнике заряда, пропорциональна LET и длине ее трека.

Прямая ионизация легких частиц не может привести к сбоям в полупроводниковой аппаратуре. Однако полностью игнорировать их из-за механизмов косвенной ионизации нельзя. Протон или нейтрон, обладающий достаточной энергией, попадая в объем полупроводникового материала, становится причиной ядерной реакции. Продукты этой реакции тяжелее, чем протон или нейтрон, внедренный в материал полупроводника, и сами становятся источниками прямой ионизации и эффекта однократного действия, что может стать причиной сбоя электронной аппаратуры.

Основное отличие механизма накопления индуцированного заряда в структуре кремний на изоляторе (КНИ) по сравнению с механизмом накопления заряда в объемном кремнии состоит в том, что для КНИ-структуры из-за меньшей толщины пленки полупроводника и наличия скрытого окисла величина накопленного заряда при прохождении ТЗЧ будет значительно меньше, чем для структуры на объемном кремнии, где работает эффект воронки (funneling) и связанные с ним процессы накопления заряда. Принцип формирования заряда в КНИ-структуре представлен на рисунке 1.

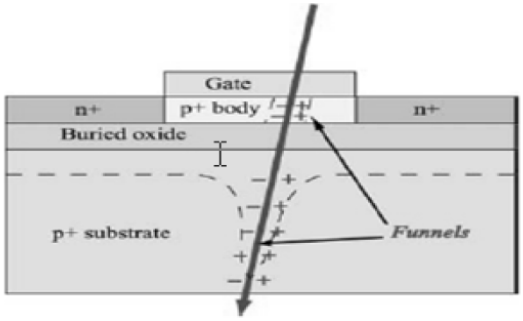


Рис. 1. Формирование заряда в КНИ-структурах

Минимальная энергия, требующаяся для образования электронной-дырочной пары в оксиде кремния в 4.5 раза превышает энергию в чистом кремнии. А плотность генерируемых электрон-дырочных пар при этом почти в 5 раз меньше. Это делает КНИ технологию гораздо более предпочтительной при проектировании и изготовлении СБИС для космических применений [3, 4].

2 Предпосылки к возникновению сбоев в элементах, входящих в библиотеку проектирования СБИС

Импульсы тока, генерируемые эффектами однократного действия за счет механизмов прямой и косвенной ионизации, далеко не всегда могут привести к паразитному переключению и сбою в функциональных узлах цифровых СБИС. Во-первых, чтобы сгенерировать ток достаточной силы и продолжительности потребуется частица со значительными величинами размеров и энергии. Во-вторых, необходимо принять во внимание условия функционирования цифровой схемы в целом и МОП-транзистора в

частности в момент, когда он подвергается воздействию ТЗЧ. В-третьих, нужно учитывать конструктивные особенности МОП-транзисторов, их емкостные и электрические характеристики [5].

Главная причина появления паразитных однократных защелкиваний, сбоев, прерываний и помех в цифровых схемах заключается в появлении значительного количества носителей заряда в канале МОП-транзистора, которые могут участвовать в проводимости, в результате воздействия ТЗЧ. Эти носители становятся причиной появления кратковременного эффекта инверсии и импульса тока даже при запирающих канал уровнях напряжений затвор-исток, то есть ниже пороговых значений [6].

Присутствие одинаковых логических уровней на истоке и стоке означает, что МОП-транзистор открыт, и появление в его канале дополнительных носителей к сбою не приведет. Влияние оказывается на динамическое поведение цифрового КМОП вентиля, на время его переключения и перезарядки паразитных емкостей в узле.

Разные логические уровни на истоке и стоке МОП-транзистора в КМОП структурах перед пролетом через него ТЗЧ говорят о наличии на его затворе запирающего напряжения. В этом случае, появление в нем носителей заряда, инверсия проводимости его канала и появление в нем тока являются следствием нарушения режимов работы транзистора, которое может привести к сбою функционирования всей СБИС в целом.

Продолжительность эффекта инверсии проводимости канала и его последствия, как и в случае механизмов прямой и косвенной ионизации, зависит от энергии частицы и пути, который она прошла в материале полупроводника. Соответственно, наибольшую опасность составляют случаи, когда траектория полета ТЗЧ такова, когда её трек проходит наибольшую дистанцию в канале МОП-транзистора. В худшем варианте, когда оба параметра будут иметь значительную величину, будет спровоцирована перезарядка емкостей МОП-транзистора и цифрового вентиля, в котором он работает, приводящая, в конечном итоге, к паразитному переключению схемы.

Для комбинационной логики это вызывает появление значительных задержек и паразитных импульсов внутри схемы и на её выходе. Однако при исчезновении эффекта инверсии, в конечном итоге, значение на выходе комбинационной схемы примет истинный вид. Для последовательностной логики это приводит к гораздо более тяжелым последствиям. В этом случае паразитные импульсы могут, либо стать причиной ошибки при записи, либо привести к переключению уже сохраненного значения.

Необходимо также учитывать, что действие этого эффекта в КМОП-структурах приводит к повышенному выделению тепла и энергопотреблению за счет рассеяния ионизированного заряда и появления в микросхеме паразитных импульсных токов короткого замыкания между шинами питания и земли.

3 Описание сбоев и последствий воздействия ТЗЧ в цифровых вентилях СБИС

Результат воздействия ТЗЧ на комбинационную логику можно продемонстрировать на примере простого инвертора. Для наглядности, моделирование проводилось на инверторах с минимальной и увеличенной в два раза нагрузочной способностью, построенных на МОП-транзисторах с разными геометрическими размерами и, соответственно, емкостными параметрами. Временные диаграммы представлены на рисунке 2 и 3.

На диаграммах воздействия ТЗЧ, обладающей энергией равной 23 Мэв, на *n*-канальные МОП-транзисторы обоих инверторов, появляется характерный паразитный импульс, а напряжение на их выходах на промежуток времени, от нескольких до десятков пикосекунд, изменяется, в худшем случае до значений характерных для другого логического уровня. В реальной цифровой схеме, если это время окажется меньше, чем задержка распространения комбинационной схемы, вход которой подключен к выходу, подвергшегося

воздействию ТЗЧ вентиля, или нагрузка, подключенная к нему, будет достаточно большой, то импульсная помеха будет отфильтрована.

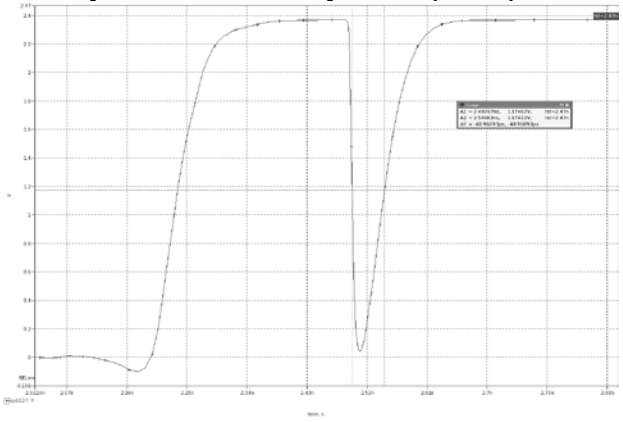


Рис. 2. Временная диаграмма ЭОД для инвертора с минимальной нагрузочной способностью

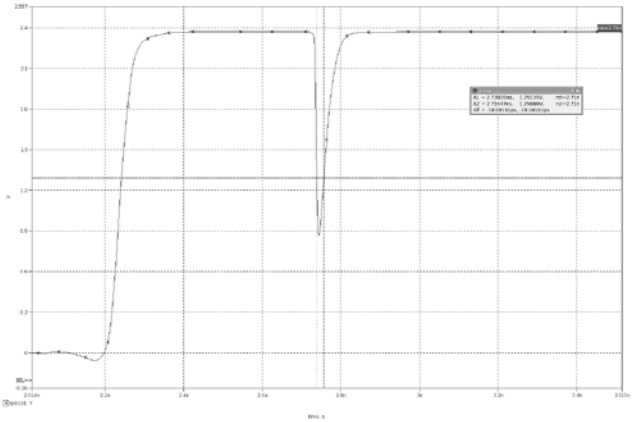


Рис. 3. Временная диаграмма ЭОД для инвертора с увеличенной нагрузочной способностью

Если помеха, не будучи отфильтрованной, поступит на вход цифрового вентиля или схемы обладающего памятью, то она может записаться, превратившись в полноценный сбой. Динамическое управление, в целом, обеспечивает защиту последовательностной логики, регистров и триггеров от сохранения ложных значений появившихся на их входах. Однако существует уязвимость, связанная с неидеальностью переходных процессов и отличных от нуля временах нарастания и спада сигналов в цифровых схемах. Появление паразитного импульса на входе триггера по фронту тактирующего сигнала приведет к нарушению ограничения на время его предустановки, вследствие чего запись входной информации произойдет некорректно.

Отдельно следует рассмотреть сбои, при воздействии ТЗЧ на транзистор внутри самого триггера. Исследуемый триггер представлен на рисунке 4. Однократная импульсная помеха появляется в *n*-канальном МОП-транзисторе инвертора I9. При этом тактирующий сигнал остается статичен. Временная диаграмма, иллюстрирующая подобный сбой, классифицируемый как сбой в режиме хранения, представлена на рисунке 5.

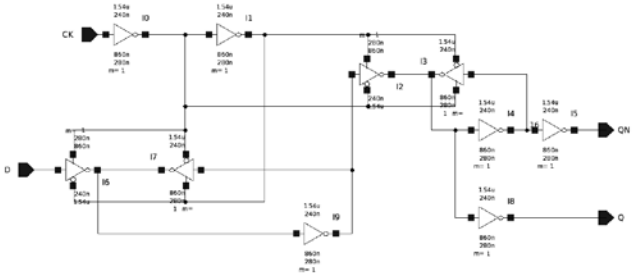


Рис. 4. Принципиальная схема исследуемого триггера

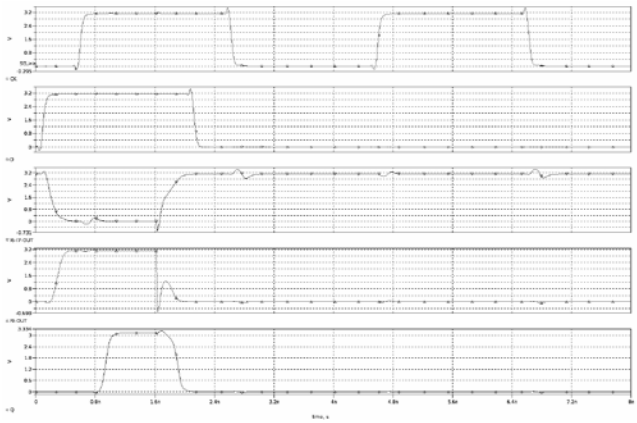


Рис. 5. Временна диаграмма сбоя в триггере в режиме хранения

Триггер также может подвергнуться воздействию ТЗЧ в момент изменения состояния тактирующего сигнала. Наиболее помеховосприимчивым элементом в таком случае является инвертор с тремя состояниями, представленный на рисунке 6, который наиболее часто используется для построения последовательностных устройств. На рисунке 7 приведены

временные диаграммы моделирования воздействия ТЗЧ на *p*-канальный транзистор MP1 инвертора с третьим состоянием I6 в схеме триггера.

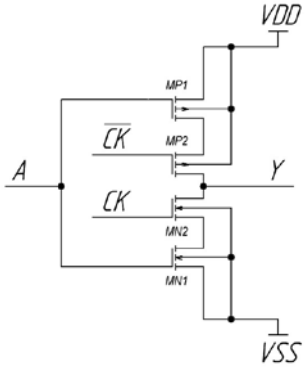


Рис. 6. Принципиальная схема инвертора с тремя состояниями

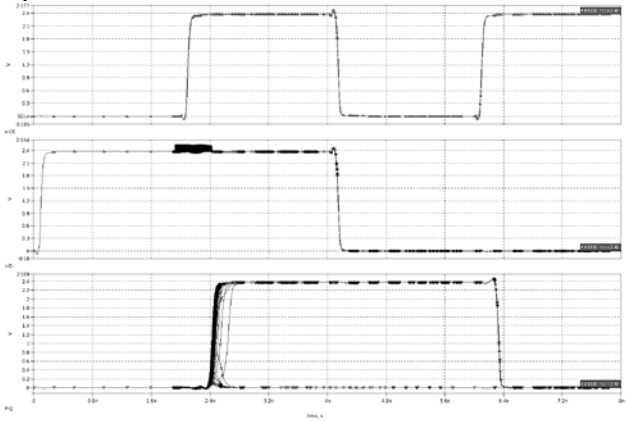


Рис. 7. Временные диаграммы сбоя в триггере в режиме хранения

Представленное семейство временных диаграмм демонстрирует поведение триггера в зависимости от времени воздействия ТЗЧ в течение фронта тактирующего сигнала. Последствием может быть как сбой или задержка установления истинного значения на выходе триггера на десятки и даже сотни пикосекунд, так и сохранение верного значения на выходе. Как видно из рисунка 4, запоминающая схема триггера строится на попарно включенных инверторах с тремя состояниями с выходами направленными навстречу друг другу и работающих в противофазе тактирующего сигнала и обратной связи. В результате, при изменении состояния управляющего сигнала существует такой момент времени, когда цепь, подключенная к выходам этих инверторов, оказывается не подключенной напрямую к шине земли или питания из-за переходного состояния инверторов формирующих сигнал на ней. Это и является наиболее уязвимым местом в работе триггера, так как к сбою может привести ТЗЧ, не обладающие значительными энергиями.

Заключение

В результате проведенной работы было выявлено, что главной проблемой стойкости цифровых СБИС к ЭОД являются особенности функционирования последовательностных функциональных узлов при изменении состояния тактирующего сигнала. Сбоеустойчивость комбинационного узла, а также последовательностного в статическом режиме, к воздействию ТЗЧ можно значительно повысить, применяя для его построения МОП-транзисторы соответствующих размеров и конструктивов, жертвуя при этом его быстродействием и увеличением площади. Однако такой подход не возможен, если требуется обеспечить максимальную производительность и функциональность проектируемой СБИС или повысить стойкость последовательностной логики к воздействию ТЗЧ при изменении состояния управляющего сигнала из-за принципов её функционирования. Проведенные исследования позволят в дальнейшем разработать методики для проектирования стойких к ЭОД цифровых узлов, с учетом накладываемых на них требований и ограничений.

Литература

1. Дельцов И.Л. Методика проведения испытаний библиотеки стандартных элементов для проектирования СБИС на воздействие тяжелых заряженных частиц // XVII-я Молодежная международная научно-техническая конференция «Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2015». 2015 г., г. Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана. – с. 271-276.
2. С.А. Морозов, С.А. Соколов. Радиационные эффекты при воздействии тяжелых заряженных частиц на КНИ СБИС и способы их моделирования // Труды НИИСИ РАН. Математическое и компьютерное моделирование систем: прикладные аспекты. Т.1. №2. – Москва, Издательство «НИИСИ РАН», 2011. – с. 47-51.
3. LABEL K. et al. Commercial Microelectronics Technologies for Applications in the Satellite Radiation Environment. In: http://flick.gsfc.nasa.gov/radhome.htm, Nov. 1999.
4. O'BRYAN M., LABEL K., REED R., BARTH J., SEIDLECK C., MARSHALL P., MARSHALL C., CARTS M. Single Event Effect and Radiation Damage Results for Candidate Spacecraft. – IEEE NSREC Conference, 1998.
5. Чистяков М.Г. Исследование топологии полевых транзисторов для библиотеки стандартных функциональных узлов с минимальной проектной нормой 0,25 мкм // XV-я Молодежная международная научно-техническая конференция «Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2013». 2013 г., г. Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана. – с. 231-237.
6. Глушко А.А., Родионов И.А., Макарчук В.В. Возможности моделирования технологических процессов изготовления субмикронных КМОП СБИС с помощью современных систем TCAD // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2007. №4. С.32-34.

Работа выполнена при частичной финансовой
поддержке РФФИ (грант 15-07-03116)

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ФИКСАТОР «ТИСКИ»

Денисенко Н.А.
Научный руководитель: асс. Арабов Д.И.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

THE AUTOMATED GRIPPER «VICE»

Denisenko N.A.
Supervisor: Arabov D.I.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В рамках данной работы описаны разработка и изготовление автоматизированного фиксатора «Тиски». Обоснована актуальность проблемы. Описаны преимущества и недостатки как системы в целом, так и её отдельных составляющих.

Abstarct
As part of this work we describe the development and manufacture of automated gripper "Vice". The urgency of the problem. The advantages and disadvantages as the system as a whole and its individual components.

Введение

В настоящее время весь мир производства старается так или иначе автоматизировать большинство задач, чтобы исключить влияние человеческого фактора, а тем самым повысить качество производства. С целью выполнения мелких операций приобретаются роботы-манипуляторы, представляющие собой руку с множеством суставов. Такие механизмы имеют большой ценовой диапазон. В большинстве случаев подобные манипуляторы не комплектуются, так называемым, инструментом – по сути «кистью» и «пальцами» робота [1]. В свою очередь подобные «кисти» зачастую стоят дороже самих роботов [2], что приводит к вопросу создания собственного узкоспециализированного устройства захвата.

1 Описание существующих захватов и обоснование выбора конструкции

Существующие автоматизированные адаптивные захваты являются довольно дорогими. и в большинстве случаев задачи, в которых задействуются подобные устройства, не требуют столь высокого уровня точности и сложности организации.

На рисунке 1.1 представлен двухпальцевый захват от компании «Robotiq» [2].

Рис. 1.1. Двухпальцевый захват «Robotiq»

Основной характеристикой захвата является максимальное расстояние, на которое могут разводиться «пальцы».

Захват, изображенный на рисунке 1.1, представлен двумя моделями – с максимальными расстояниями между «пальцами» 85 мм и 140 мм соответственно. Повторяемость движений для этих моделей составляет 50 и 80 микрон соответственно. Данный захват представляет собой среднюю ценовую категорию и стоит порядка 12000$, что периодически сопоставимо со стоимостью самого робота. Предназначено это устройство для робота манипулятора UR5.

Основной предпосылкой к данной работе стала покупка манипулятора UR5 в производственных целях. Встал вопрос создания собственного недорого автоматизированного фиксатора.

Одним из основных условий для конструкции устройства была простота организации, поэтому за основу взяты тиски с одной подвижной стенкой.

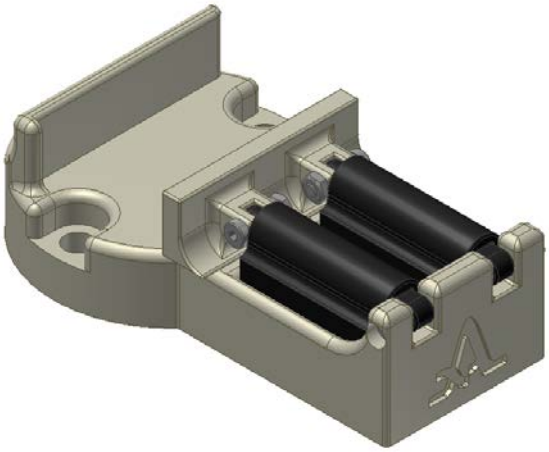


Рис. 1.2. 3D-модель автоматизированного фиксатора «Тиски», созданная в Autodesk Inventor

Для манипуляций над подвижной стенкой были выбраны актуаторы PQ12 от компании «Firgelli» в следствие их доступности, относительно низкой стоимости и простоты управления [3].

Для подключения актуаторов к роботу-манипуляторов потребовалось изготовление печатной платы драйвера актуаторов, для которой было предусмотрено посадочное место в основании фиксатора.

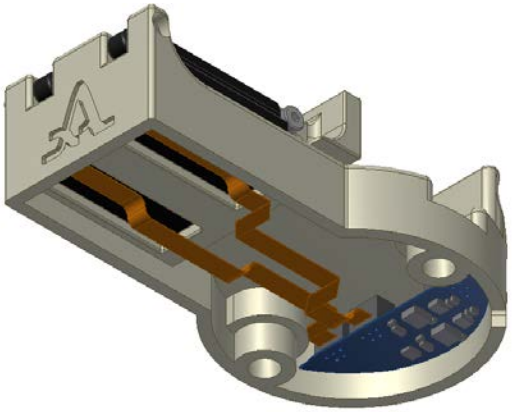


Рис. 1.3. 3D-модель автоматизированного фиксатора «Тиски». Положение платы и коммутация актуаторов

Таким образом была получена оптимальная конструкция автоматизированного фиксатора.

2 Изготовление печатной платы и расчет корпуса на прочность

Выбор элементной базы производился, исходя доступных на момент конструирования платы компонентов. В качестве микросхемы драйвера была выбрана MIC4452 (корпус – 8-pin SOIC) [4]. Данная микросхема позволяет выдавать выходное напряжение в диапазоне от 3 до 18 В, что удовлетворяет требованиям актуаторов, для которых входным напряжением является 12 В [3]. Также данные схемы требуют установки в параллель входной цепи трех конденсаторов (двух – 0,1 мкФ, одного – 10 мкФ; размер - 0603). Для выполнения заданных функций используются два драйвера, каждый из которых подсоединяется на один из контактов актуатора.

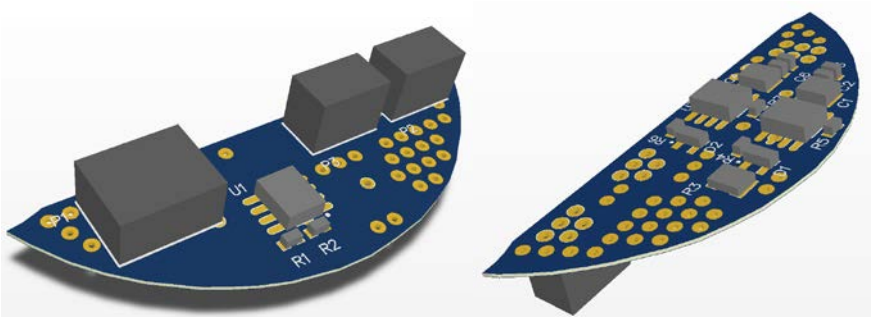


Рис. 2.1. Печатная плата с компонентами (слева – вид сверху, справа – вид снизу)

Самым главным требованием к конструкции устройства являлась достаточная прочность материала корпуса, поэтому большая часть работы посвящена поиску тонких мест и расчету напряжений, которые могут возникнуть в корпусе.

Проектирвоание устройства осуществлялось при соблюдении требвоаний синхронных технологий проектирвоания, ориентирвоанных на испольование инфраструктуры цифрового инструментального производства [5-9].

Расчет надежности корпуса устройства проводится посредством пакета Autodesk Inventor. Проводится статический анализ напряжений при некоторой нагрузке. Самым тонким и напряженным местом является соединение ложемента актуаторов с цилиндрической частью основания. Поэтому важно, чтобы именно в этом месте напряжение не превышало допустимых значений.

Задается материал «Пластик АБС» из стандартной библиотеки Autodesk Inventor. Ниже приведены его физические свойства.

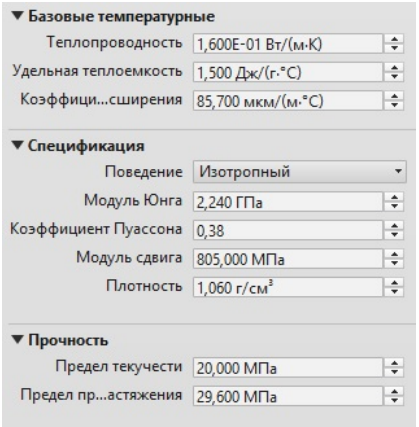


Рис. 2.2. Характеристики материала «Пластик АБС» из стандартной библиотеки материалов Autodesk Inventor

При статическом анализе фиксируется плоскость установки корпуса на инструментальную головку робота.

Первая часть статического анализа проведена при нагружении распределенной нагрузкой дальней стенки ложемента актуаторов. Давление этой нагрузки подбиралось таким образом, чтобы получить значение напряжения в тонком месте больше, чем значение предела текучести для данного материала. Из рисунка 2.2 видно, что предел текучести АБС-пластика равен 20 МПа.

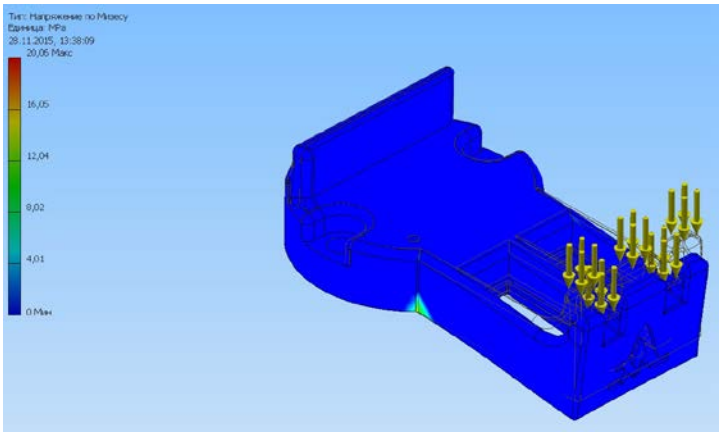


Рис. 2.3. Статический анализ напряжений в тонком месте

Из рисунка 2.3 видно, что в результате анализа было получено значение, при котором напряжение в тонком месте превышает предел текучести. Давление распределенной нагрузки равно 355 КПА, что дает напряжение в тонком месте, равное 20,06 МПа.

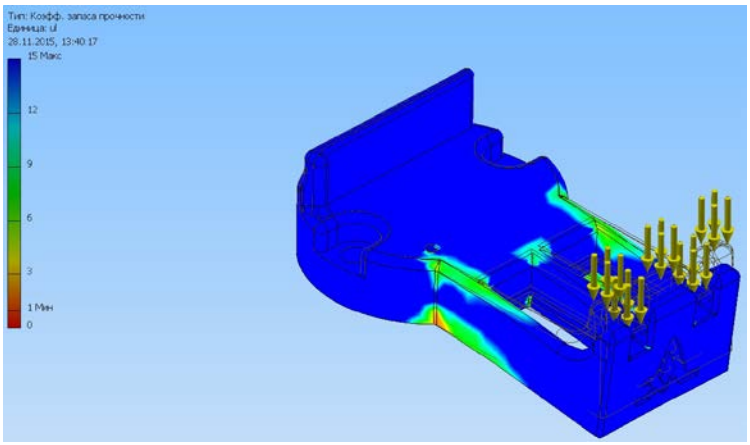


Рис. 2.4. Распределение коэффициента запаса прочности

Рисунок 2.4 показывает, что коэффициент запаса прочности в тонком месте при такой нагрузке равен 0.

Смещения, возникшие при действии данной нагрузки отражены на рисунке 2.5.

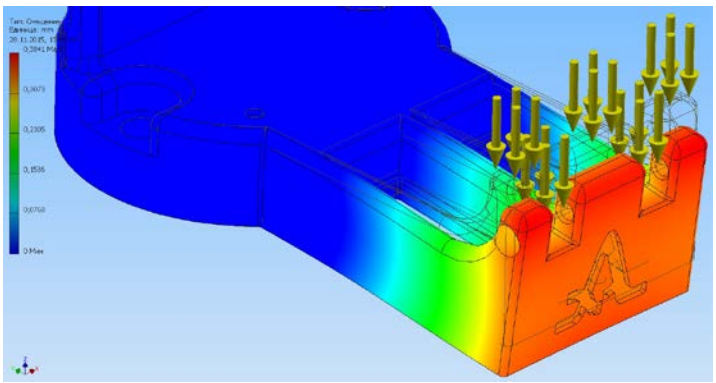


Рис. 2.5. Смещения при статическом анализе

Из рисунка выше видно, что максимальное смещение составило 3,8 мм от своего начального положения.

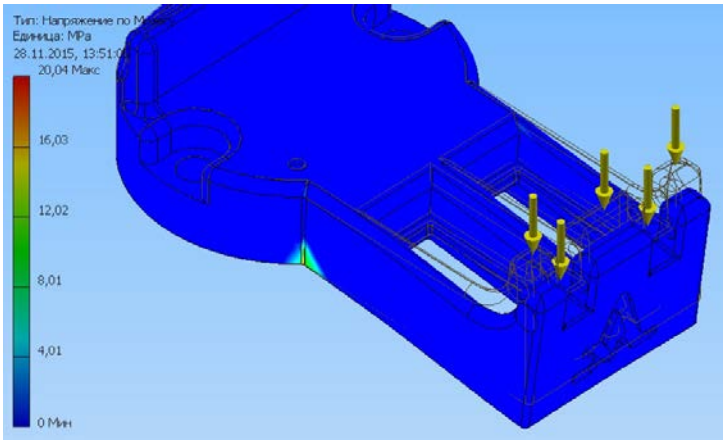


Рис. 2.6. Статический анализ напряжений при сосредоточенной нагрузке

Значениям, полученным при анализе воздействия распределенной нагрузки, равной 355 КПа, соответствуют значения, полученные при анализе воздействия сосредоточенной нагрузки, равной 31,1 Н, что видно на рисунке 2.6.

Анализ нагрузок, действующих на боковую грань ложемента актуаторов, не производится, так как в сборе упругость увеличивается за счет распределения части нагрузок на актуаторы. Для подобного анализа требуется более детальное моделирование актуаторов, что не является необходимым.

Также имеет смысл провести статический анализ напряжений подвижной стенки и определить, сможет ли она остаться целой при сбое – работе только одного из двух актуаторов.

Актуатор может действовать с силой в 40 Н [3]. При анализе одна петля для установки актуаторов в подвижной стенке зафиксирована, а другая нагружается указанной нагрузкой.

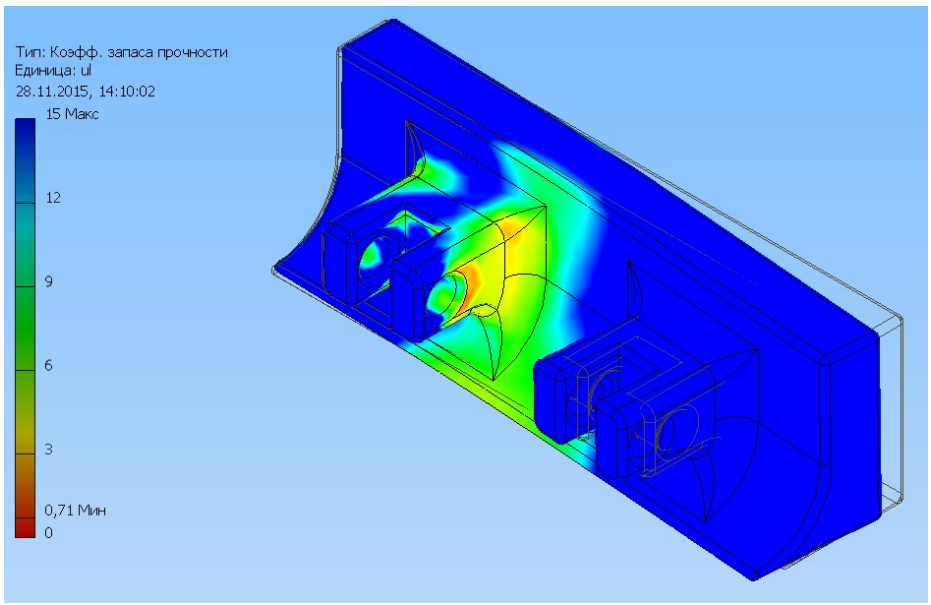


Рис. 2.7. Статический анализ напряжений подвижной стенки при неисправности одного из актуаторов (распределение коэффициента запаса прочности)

Из рисунка 2.7 видно, что присутствуют области детали, в которых при заданной нагрузке коэффициент запаса прочности будет равен нулю, что говорит о том, что деталь придет в негодное состояние при возникновении неисправности одного из актуаторов.

Так как самым тонким местом детали являются петли для фиксации актуаторов, проводится аналогичный анализ, но с подбором силы так им образом, чтобы определить, какую максимальную нагрузку сможет выдержать деталь.

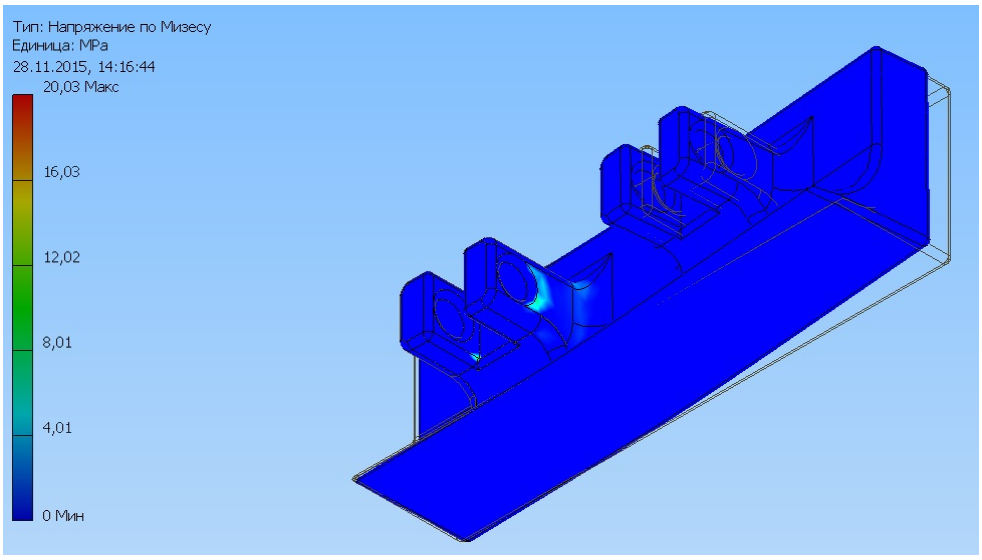


Рис. 2.8. Статический анализ подвижной стенки

Как видно из рисунка 2.8, предел текучести материала превышен (ракурс специально изменен, чтобы увидеть зоны максимального напряжения). Такое распределение напряжений соответствует аналогичному анализу, что и на рисунке 2.7, но при нагрузке в 14,2 Н. Максимальное смещение при этом составляет 1,9 мм.

Заключение

Таким образом был спроектирован простой и достаточный для выполнения элементарных задач, связанных с захватом прямоугольных предметов, захват. Его себестоимость складывается из двух параметров: затрат на изготовление корпуса и стоимости покупных изделий.

На изготовление данного корпуса было затрачено чуть меньше, чем 30 кубических сантиметров ABS-пластика. Цена полного картриджа объемом 1 литр составляет 25 тысяч рублей (по состоянию на январь 2016 года). Следовательно, стоимость изготовления корпуса равна 750 рублям (не учитывается временные и энергетические ресурсы, затраченные на производство). Изготовление платы в сборе – 3500 рублей. Актуаторы PQ12 – 700 рублей каждый. Итого: 5650 рублей. Это дешевле большинства устройств, представленных на рынке. Устройство выполнено максимально просто. Произведен анализ напряжений, по результатам которого выявлено, что корпус устройства полностью соответствует рабочим условиям.

Литература

1. Манипулятор UR5 – Описание и руководство по эксплуатации: [Электронный ресурс]. URL: http://www.universal-robots.com/ru/продукция/манипулятор-ur5/ (дата обращения 26.11.2015).
2. Адаптивный роботизированный захват – Описание устройства: [Электронный ресурс]. URL: http://robotiq.com/products/industrial-robot-gripper/ (дата обращения 26.11.2015).
3. Актуатор PQ12 – Описание и руководство по эксплуатации: [Электронный ресурс]. URL: http://www.firgelli.com/Uploads/PQ12_datasheet.pdf (дата обращения 26.11.2015).
4. Микросхемы MIC4451/4452 – Описание и технические характеристики: [Электронный ресурс]. URL: http://www.micrel.com/_PDF/mic4451.pdf (дата обращения 26.11.2015).
5. Арабов Д.И., Власов А.И., Гриднев В.Н., Зотьева Д.Е., Маркелов В.В. FAB-LAB-ТЕХНОЛОГИИ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ // В сборнике: Современные научные исследования: методология, теория, практика материалы II Международной научно-практической конференции. Центр содействия развитию научных исследований. Нижний Новгород, 2014. С. 162-179.
6. Арабов Д. И., Власов А. И., Гриднев В.Н., Григорьев П. В. КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВОГО ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА (FAB LAB) ДЛЯ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. №5.
7. Арабов Д.И., Вирясова А.Ю. , Гриднев В.Н. КОМПЛЕКСНОЕ МАКЕТИРОВАНИЕ УЗЛОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА (FAB-LAB) В УСЛОВИЯХ СКВОЗНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2016. Т. 1.
8. Власов А.И., Карпунин А.А., Ганев Ю.М. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПРИ КАСКАДНОЙ И ИТЕРАТИВНОЙ МОДЕЛИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 1. С. 96-100.
9. Курносенко А.Е., Соловьев В.А., Арабов Д.И. ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СОВМЕСТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ И МЕХАНИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ ИЗДЕЛИЯ В САПР SOLID EDGE/NX // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2014. № 3 (155). С. 85-89.

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ПРЕЦИЗИОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ИНДУКТИВНОСТИ

Ечеистов В.В.
Научный руководитель: Цивинская Т.А.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

CONCEPT DEVELOPMENT OF PRECISION INDUCTANCE MEASURING DEVICE

Echeistov V.V.
Supervisor: Tsyvinskay T.A.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье рассматривается концепция устройства для измерения индуктивности, обладающего следующими свойствами: точность, компактность, дешевизна. Подробно исследован принцип измерения индуктивности, составляющий основу разработки на примере возможного схемотехнического решения. Кратко представлена оценка размеров устройства, затрат на изготовление, пределов возможностей. В заключении представлены рекомендации по расширению функционала устройства.

Annotation
The article describes the concept of inductance measuring device, that will be cheap, precise and compact. The principle of inductance measurement, which was taken as a basis, was deeply studied. Assessment of the size, the cost of manufacture and limits of opportunities were briefly shown. Recommendations for functional expansion where shown in conclusion.

Введение

При решении практических задач приборостроения очень часто возникает потребность в измерении индуктивности: дефектовка неисправных устройств, проверка исправных – для выяснения отклонений от номиналов и т.д. В связи с этим возникает задача выбора средств измерений [1, 2]. Можно использовать лабораторные измерители индуктивности или не особо точный, но в то же время очень компактный мультиметр. Цель: разработать устройство, которое должно быть точным, недорогим и компактным (не более 100 х 50 мм).

1 Выбор методики измерения индуктивности

С опорой на справочник В.А. Кузнецова «Измерения в электронике» была составлена классификация методов измерения индуктивности (рис. 1) [3, 4].

Рис. 1. Классификация методов измерения индуктивности

Для поставленной цели наиболее подходящим является дискретный метод, отличающийся самой высокой точностью измерения – именно его и решено было выбрать в качестве основы работы.

Принцип действия устройства, рассмотренного в статье, базируется на применении формулы (1), связывающей параметры резонансного LC-контура: частоту, емкость и индуктивность.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L * C}} \tag{1}$$

Для задания частоты измерения в устройстве используется встроенный в микроконтроллер PIC16F84 генератор [5]. В качестве опорной величины используется элемент C – откалиброванный конденсатор емкостью 1000 pF. Микроконтроллер в широких пределах варьирует частоту генерации сигнала, постоянно сравнивая предыдущее значение амплитуды с текущим с помощью встроенного компаратора. Косвенно осуществляется анализ АЧХ резонансного контура, график которой представлен на рис. 2.

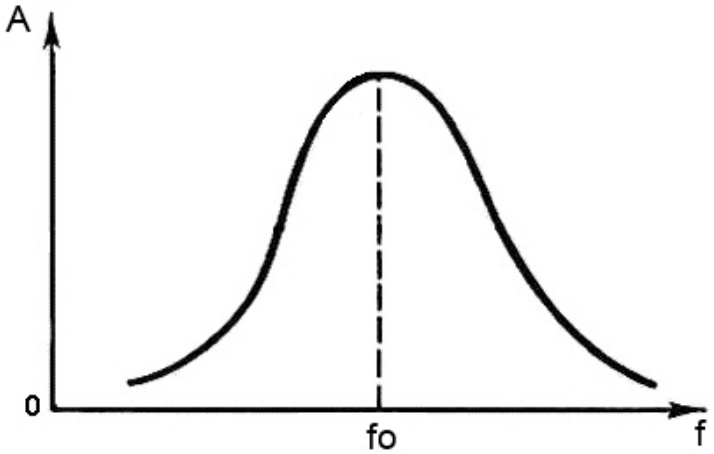


Рис. 2. АЧХ резонансного контура

Обнаружив экстремум АЧХ – максимальное значение амплитутды – микроконтроллер сопоставляет ему соответствующее значение частоты, которая и будет является резонансной частотой f_o. Далее по формуле (1) вычисляется искомая индуктивность, соответствующая опорной емкости C и найденной резонансной частоте fo.

Ввиду того, что частота генерации микроконтроллера не безгранична, накладывается ограничение и на предел измеряемой индуктивности – 100 мГн.

2 Концепция устройства на базе микроконтроллера PIC16F84

В качестве вычислительного ядра устройства был выбран микроконтроллер PIC16F84, обладающий аналоговым компаратором, программируемым источником опорного напряжения, несколькими таймерами [6]. Данный микроконтроллер также является недорогим и его производительности хватает для поставленной задачи. Эскиз принципиальной схемы устройства изображен на рисунке 3.

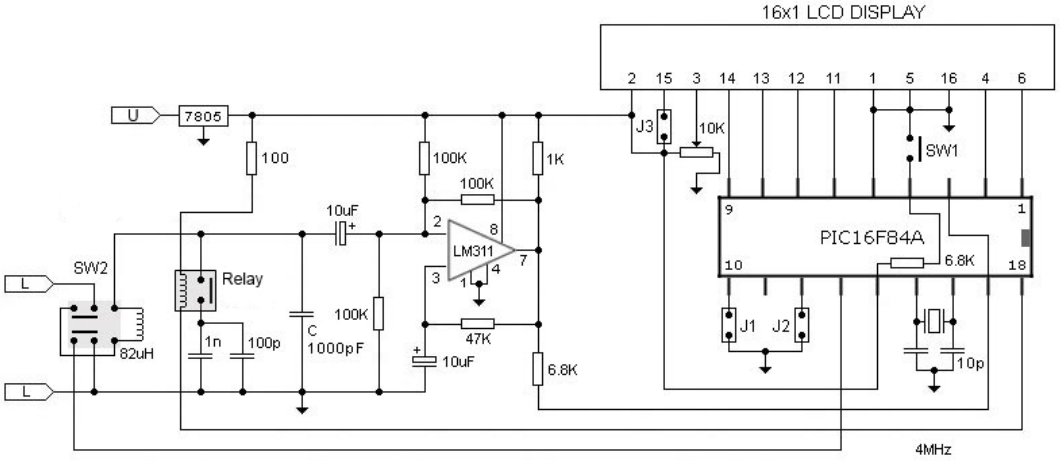


Рис. 3. Эскиз принципиальной электрической схемы устройства

В предложенном варианте реализации микроконтроллер выполняет сразу множество функций: устройство управления, триггер, компаратор, генератор импульсов, элемент 2И, счетчик импульсов, таймер. Это и обусловливает экономию места и энергопотребления, а также низкую стоимость.

Заключение

Рассмотренный дискретный метод измерения обладает высокой точностью измерения (менее одного процента), но это далеко не предел: с развитием полупроводниковой элементной базы в рамках данного проекта можно достичь точности десятых и сотых долей процента.

В связи с маломощностью устройства возникает ограничение на максимальную индуктивность: около 100 мГн, что в дальнейшем планируется усовершенствовать путем добавления в схему нескольких режимов работы за счет введения дополнительных опорных индуктивностей.

Размеры устройства чуть более чем 80 х 40 мм. Ценовой диапазон измерительного устройства лежит в пределах нескольких сотен рублей.

Литература

1. Кузнецов В.А. Измерения в электронике. Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1987. - 512 с.
2. Журавлева Л.В. ОСНОВЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ - Москва, Академия. 2015. (9 издание, переработанное и дополненное).
3. Власов А.И., Журавлева Л.В., Тимофеев Г.Г. МЕТОДЫ ГЕНЕРАЦИОННОГО ВИЗУАЛЬНОГО СИНТЕЗА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ МИКРО-/НАНОСИСТЕМ // Научное обозрение. 2013. № 1. С. 107-111. 10
4. Журавлева Л.В., Власов А.И. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТВОРЧЕСКИХ СТРАТЕГИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕНТАЛЬНЫХ КАРТ // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2013. № 1 (21). С. 133-140.
5. Искусство схемотехники: В 3-х томах. Пер. с англ.– 4-е изд. перераб. и доп.– М.: Мир, 1993. – ISBN 5-03-002337-2. – Т. 1–3.
6. Микушин А. В. Занимательно о микроконтроллерах. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 432 с. – ISBN 5-94157-571-8

ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ PIC ЧЕРЕЗ РАЗЪЕМ RS-232 ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА

Ечеистов В.В.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Глушко А.А.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

FEATURES PIC MICROCONTROLLERS PROGRAMMING VIA RS-232 CONNECTOR OF PC

Echeistov V.V.
Supervisor: Ph.D., Assoc. Prof. Glushko A.A.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье рассматриваются особенности программирования микроконтроллеров PIC с применением персонального компьютера. Подробно исследован принцип передачи микропрограммы в память микроконтроллера через разъем RS-232. Представлена модель устройства, реализующего вышеназванные функции. В заключении представлены преимущества и недостатки подобного подхода к вопросу программирования микроконтроллеров.

Annotation
The article describes the features of PIC microcontrollers programming with a help of PC. The principle of firmware transfer to the microcontroller memory through RS-232 connector was deeply studied. The model of device, that performs abovementioned functions, was shown. Advantages and disadvantages of this approach to the question of microcontrollers programming where presented in conclusion.

Введение

При работе в сфере электроники очень часто возникает необходимость проектирования цифрового устройства на базе программируемого микроконтроллера. Как известно, сквозное проектирование является процессом итерационным, и нередко появляется потребность корректировки как аппаратной части устройства, так и программной. При этом последняя составляющая не может быть осуществлена без использования специального устройства – программатора, позволяющего записать программу с персонального компьютера в память микроконтроллера. Ниже будут рассмотрены особенности программирования микроконтроллера семейства PIC через разъем RS-232 персонального компьютера. Первоочередной является задача выбора методики установки микропрограммы, определяемой особенностями программируемого микроконтроллера, и архитектуры программатора.

1 Методики установки микропрограммы

На рисунке 1 представлена классификация методик установки микропрограммы [1].

Рис. 1. Классификация методик установки микропрограммы

Методики программирования делятся на два типа: высоковольтное (high voltage programming) и низковольтное (low voltage programming) программирование [1]. В первой методике для перевода микроконтроллера в режим программирования дополнительно используется более высокое напряжение (Vpp - напряжение программирования) по сравнению с рабочим (Vdd). Во второй методике никаких дополнительных напряжений не используется. Также эти методики подразделяются на несколько подтипов, отраженных на рисунке 1, зависящих от типа микроконтроллера.

2 Установка микропрограммы на примере микроконтроллера PIC16F628A

Рассмотрим установку микропрограммы на примере микроконтроллера PIC16F628A, в котором реализована методика высоковольтного программирования с предварительной подачей напряжения Vpp.

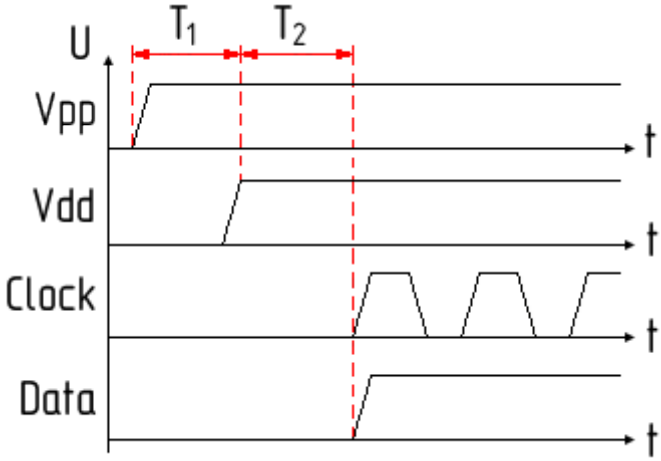


Рис. 2. Диаграммы установки микропрограммы

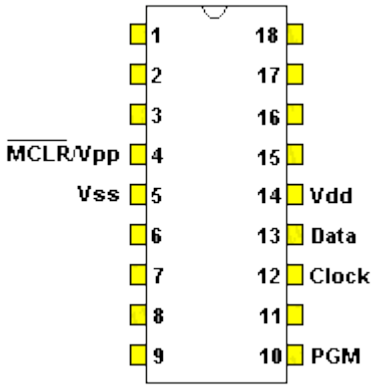


Рис. 3. Цоколевка микроконтроллера PIC16F628A применительно к режиму программирования

Диаграммы напряжений на выводах микроконтроллера отображены на рисунке 2, а сами выводы микроконтроллера PIC16F628A применительно к режиму программирования – на рисунке 3. Сначала на вывод 4 подаётся напряжение программирования (Vpp), а потом через регламентированный промежуток времени T1 подаётся рабочее напряжение (Vdd) на контакт 14. Через промежуток времени T2 контроллер перейдёт в режим программирования, и можно будет начинать обмен данными, используя линии clock и data – 12 и 13 контакты соответственно [1]. На начальном этапе, пока контроллер переводится в режим программирования, на интерфейсных выводах должен быть нулевой уровень.

3 Выбор архитектуры программатора для разъема RS-232 персонального компьютера

Для установки микропрограммы на простой микроконтроллер достаточно устройства, работающего с разъемом RS-232. Одной из особенностей такого программатора является наличие преобразователя уровней RS-232 (+15 В и -15 В), в логические уровни ТТЛ (0 В и +5 В), необходимые для корректной работы микроконтроллера [2].

Структурная схема устройства представлена рисунке 4 [2].

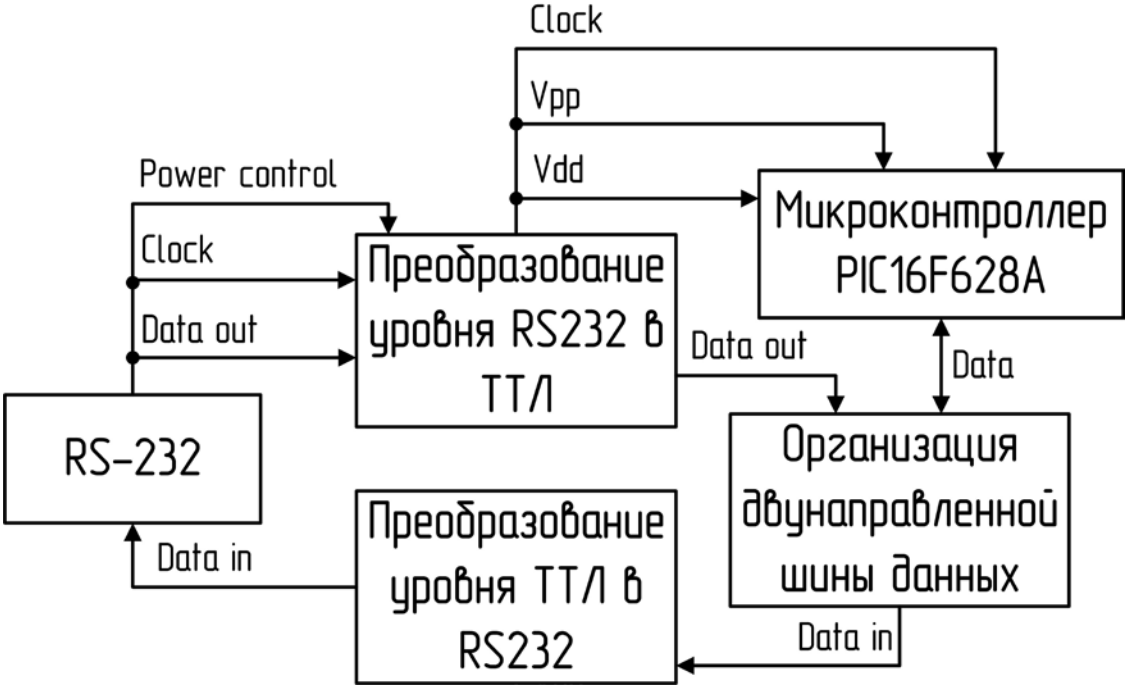


Рис. 4. Структурная схема устройства

Как видно из структурной схемы, задачи такого устройства ограничены не только преобразованием уровней RS-232 в ТТЛ и обратно, но также и организацией двунаправленной шины данных. Сделано это в связи с тем, что, помимо передачи данных на микроконтроллер, требуется еще и выполнять различного рода опрашивающие команды, поступающие от микроконтроллера к персональному компьютеру. На рисунке 5 представлена фотография собранного устройства.

Рис. 5. Собранное устройство

Эскиз принципиальной электрической схемы, описывающей рассматриваемое устройство, отображен на рисунке 6 [2, 3].

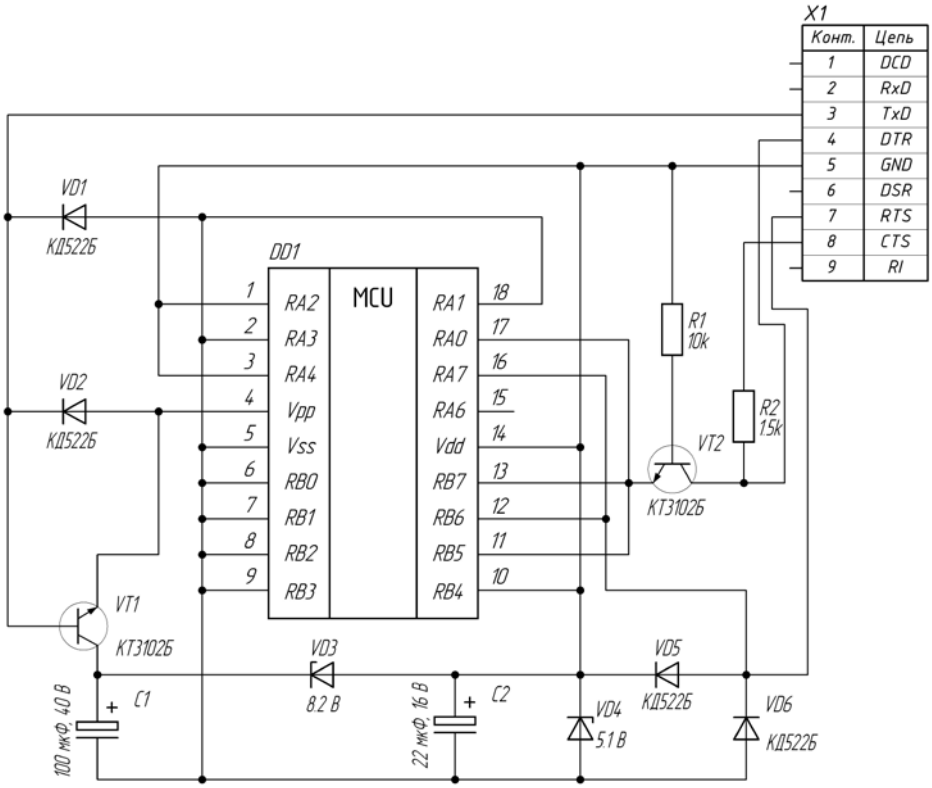


Рис. 6. Эскиз принципиальной электрической схемы устройства

Элементом X1 является разъем RS-232, а DD1 – микроконтроллер PIC16F628A. Из рисунка видно, что данное устройство единовременно обеспечивает микроконтроллер стабилизированным питанием, а также двунаправленной шиной данных.

Заключение

Рассмотренное устройство для установки микропрограммы обладает рядом неоспоримых преимуществ: простота реализации (ввиду малого числа элементов), небольшие размеры (не более 30 × 70 мм), дешевизна (стоимость в пределах 200 рублей), а также отсутствие необходимости во внешнем питании. Для работы с микроконтроллерами PIC начального уровня такого устройства будет достаточно.

Такого рода программатор не лишен и некоторых недостатков: во-первых, диапазон поддерживаемых микроконтроллеров узок (предел – 16-битные МК с 18-ю контактами); во-вторых, разъем RS-232 устарел и отсутствует в большинстве современных персональных компьютеров.

Следует отметить, что устройство подобного типа подходит для изучения архитектуры микроконтроллера и технологии их программирования, которые не будут осложняться преобразователями USB – RS-232, а также цифровыми элементами в составе схемы (помимо самого программируемого микроконтроллера).

Литература

1. Микушин А. В. Занимательно о микроконтроллерах. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 432 с. – ISBN 5-94157-571-8.
2. Предко М. PIC-микроконтроллеры: архитектура и программирование. Пер. с англ. - М.: ДМК Пресс, 2010. - 512 с. – ISBN 978-5-94074-534-1.
3. Мысловский Э.В. и др. КРАТКИЙ ОБЗОР ПОПУЛЯРНЫХ СЕМЕЙСТВ СОВРЕМЕННЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ // Электронные компоненты. 2002. № 5. С. 47-50.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке
гранта РФФИ 15-29-01115 офи-м

ИССЛЕДОВАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ФОТОРЕЗИСТОВ С УПРАВЛЯЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ

Ечеистов В.В.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Резчикова Е.В.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия
Научный консультант: к.т.н., доцент Макарчук В.В.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

RESEARCH AND CLASSIFICATION OF PHOTORESISTS WITH MANAGEABLE PROPERTIES

Echeistov V.V.
Supervisor: Ph.D., Assoc. Prof. Rezchikova E.V.
MSTU, Moscow, Russia
Consulter: Ph.D., Assoc. Prof. Makarchuk V.V.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье рассматриваются фоторезисты с управляемыми свойствами: проведено их исследование и составлена классификация. Подробно рассмотрены существующие методы фотолитографии и их недостатки. Представлен прототип «умного» фоторезиста с управляемой адгезией, а также ТП фотолитографии с его применением. В заключении представлены перспективы дальнейшего развития концепции умных материалов применительно к фотолитографии.

Annotation
The article describes photoresists with manageable properties: their investigation was carried out and the classification was compiled. The existing methods of photolithography and their shortcomings were considered in detail. The prototype of «smart» photoresist with manageable adhesion and technical process of photolithography with them were shown. The perspectives of further development of the idea of smart photomaterials in photolithography were presented in conclusion.

Введение

Процесс фотолитографии не осуществим без полимерного светочувствительного материала – фоторезиста. Способы его нанесения, экспонирования, обработки и, что немаловажно, удаления всецело определяют технологичность всего процесса фотолитографии. Качество, задаваемое фотополимером для разрешения полученного рисунка и его адгезией к поверхности, трудоемкость удаления остатков фоторезиста с поверхности по завершении всех технологических операций, учет взаимодействия реактивов, воздействующих на фоторезист и заготовку – вот неполный список тех факторов, который необходимо учитывать при работе в сфере фотолитографии. В последнее время в этой области нашли свое применение, так называемые, умные материалы, предназначенные для повышения технологичности производства, а также получения уникальных физико-химических свойств и их комбинаций.

1 Существующие методы фотолитографии и их недостатки

Существуют различные методы фотолитографии, обладающие своими достоинствами и недостатками, а в этой связи и некоторой ограниченной областью применения. Некоторые из них отражены на рис. 1.

Рис. 1. Методы фотолитографии

Фотолитография делится, в первую очередь, на контактную, бесконтактную и проекционную. При контактном методе (рис. 2. а) заготовка, покрытая фоторезистом, находится в непосредственном соприкосновении с фотошаблоном. Вследствие тесного контакта между резистом и шаблоном при контактной печати достигаются относительно высокие значения разрешения (проектной нормы). В пленке позитивного фоторезиста толщиной 0,5 мкм достаточно легко можно воспроизвести элементы схемы размером 1 мкм. Проблемы, возникающие при контактной печати, связаны с наличием загрязнений на поверхности кремниевой пластины. Кремниевая пылинка на пластине может привести к повреждению поверхности шаблона в момент его соприкосновения с пластиной. Поврежденный участок шаблона затем воспроизводится как дефектный топологический рисунок на всех других пластинах, при экспонировании которых использован этот шаблон. Каждая пластина добавляет свои собственные повреждения поверхности шаблона.

Метод бесконтактного экспонирования (рис. 2. б) схож с методом контактной печати, за исключением того, что во время экспонирования между пластиной и шаблоном поддерживается небольшой зазор шириной 10-25 мкм. Этот зазор уменьшает (но не устраняет) возможность повреждения поверхности шаблона. При бесконтактной печати величина разрешения составляет 2-4 мкм, что меньше разрешения контактной печати.

Метод проекционной печати (рис. 2. в) позволяет полностью исключить повреждения поверхности шаблона. Изображение топологического рисунка шаблона проецируется на покрытую резистом заготовку. С помощью этого метода достигается разрешение порядка 1 мкм [1].

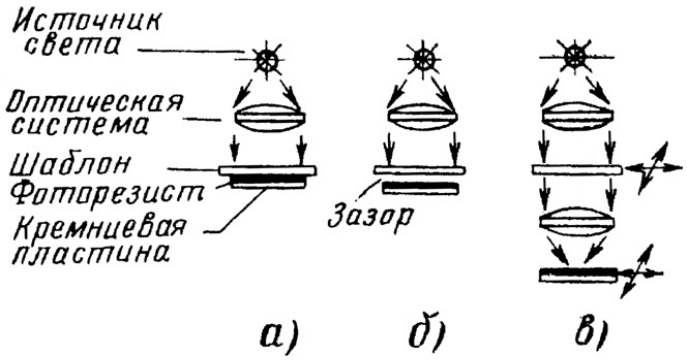


Рис. 2. Контактная (а), бесконтактная (б) и проекционная (в) фотолитография

Далее фотолитографические процессы подразделяются в зависимости от использования в них тех или иных технологических приемов на:

- *взрывную фотолитографию* (обращенную), при которой рисунок получается путем напыления слоя металла на заготовку с проявленным фоторезистом – при снятии фоторезиста (взрыве) удаляют часть металлического слоя, осевшего на маску. Принципиальное отличие от *прямой фотолитографии* – отсутствие стадии травления подложки. Недостаток: повышенный расход напыляемого металла;
- *инверсионную фотолитографию*, предназначенную для получения профиля изображения с отрицательным наклоном стенок, с использованием позитивного фоторезиста, позволяющего получить большее разрешение, чем с использованием негативного фоторезиста. Недостаток: дороже, чем негативные фоторезисты [2];
- *иммерсионную фотолитографию* (англ. immersion lithography) — способ повышения разрешающей способности за счет заполнения воздушного промежутка между последней линзой и пленкой фоторезиста жидкостью с показателем преломления более 1 (метод иммерсии). Современные литографические установки используют в качестве жидкости высокоочищенную воду, позволяя работать с техпроцессом менее 22 нм. Недостаток: дороговизна оборудования и сложность настройки [3];
- *вакуумную фотолитографию* – альтернативу использования чрезвычайно дорогих "чистых комнат". Все стадии вакуумной фотолитографии проводятся в вакууме или газовой фазе. Недостаток: усложнение производственного технологического процесса (ТП) [4];
- *фотолитографию в глубоком ультрафиолете* (EUVL от англ. extreme ultraviolet lithography) – фотолитография с использованием излучения с длиной волны 11-14 нм. Переход к EUV литографии позволил перейти 100 нм рубеж (на данный момент – вплоть до 22 нм), оставаясь в рамках традиционной фотолитографии. Недостаток: сложная зеркальная оптика и дорогостоящая технология изготовления фотошаблонов делает такой подход исключительно дорогостоящим и оставляет место для разработки литографических процессов основанных на иных физических принципах [5];
- *TFI-фотолитографию* – новое перспективное направление в разработке фоторезистов нового поколения, основанное на "формировании изображения в тонком слое фоторезиста" (в английском варианте “thin film imaging”, или, сокращенно, TFI – технология). Идея метода состоит в том, что в тонком верхнем слое резиста формируется изображение, которое служит в качестве маски для переноса изображения в низлежащие слои при помощи реактивного ионного травления в кислородной плазме [4].

Каждый из данных методов не лишен одного общего недостатка: по завершении всех операций технологического цикла литографии фоторезист необходимо удалить. Именно этот шаг существенно замедляет и усложняет технологический процесс в целом, так как применяемые для него химические или физические методы довольно-таки агрессивны по отношению к заготовке и требуют существенных экономических и временных затрат.

2 Фотополимеры с управляемыми свойствами

В последнее время рынок фотополимеров пополнился новинками с управляемыми свойствами. Новые разработки такого характера призваны усовершенствовать ныне существующие методы фотолитографии, сделав их технологичнее и дешевле.

Яркий тому пример – *фоторезист с управляемыми оптическими свойствами*: специалистам удалось модифицировать фоторезист SU-8 наночастицами диоксида титана с последующими испытаниям полученного фотополимера [6]. В зависимости от концентрации диоксида титана в фоторезисте можно управлять его показателем преломления, а, как известно, чем выше показатель преломления фоторезиста, тем выше воспроизводимый с его помощью ТП [7].

Так же интерес представляет *композитный ферромагнитный фоторезист*. В данном случае эксперименты проводились над вышеупомянутым SU-8 посредством внедрения наночастиц Ni в фотополимер. В результате сотрудникам факультета химии и химической биологии Гарвардского университета удалось создать ферромагнитную управляемую наноструктуру, которая – за счет корректного выбора диаметра наночастиц Ni – полноценно сохранила фоторезистивные свойства данного полимера [8]. Этот опыт открывает целый новый класс ферромагнитных фоторезистивных материалов.

3 Фотополимер с управляемой адгезией

В связи с этим возникла концепция создания «умного» фотополимера, обладающего управляемой адгезией к заготовке. Особенность такого материала заключается в следующем: когда в ТП требуется хорошее сцепление фоторезиста с заготовкой (для качественного формирования изображения на этапе экспонирования), обеспечивается должный уровень адгезии, а по окончании указанной операции – адгезия сводится до минимума, что обеспечивает быстрое и полное удаление теперь уже ненужного фотополимера. Такие «умные» свойства теоретически способны обеспечить некоторые классы полимеров с неустойчивой адгезией, зависящей от целого ряда условий: например, таких как температура, состав атмосферы, воздействие излучения и т.д. [9, 10].

Вопрос выбора подходящих материалов все еще остается открытым, но уже сейчас очевидно, что такого рода нововведения способны повысить технологичность фотолитографии.

4 ТП с применением фоторезитста с управляемой адгезией в сравнении с обычной фотолитографией

Рассмотрим возможные преимущества, открывающиеся при использовании фотополимера с управляемой адгезией. Для сравнительного анализа будем опираться на несколько упрощенный типовой ТП фотолитографии [1], отображенный на рис. 3.

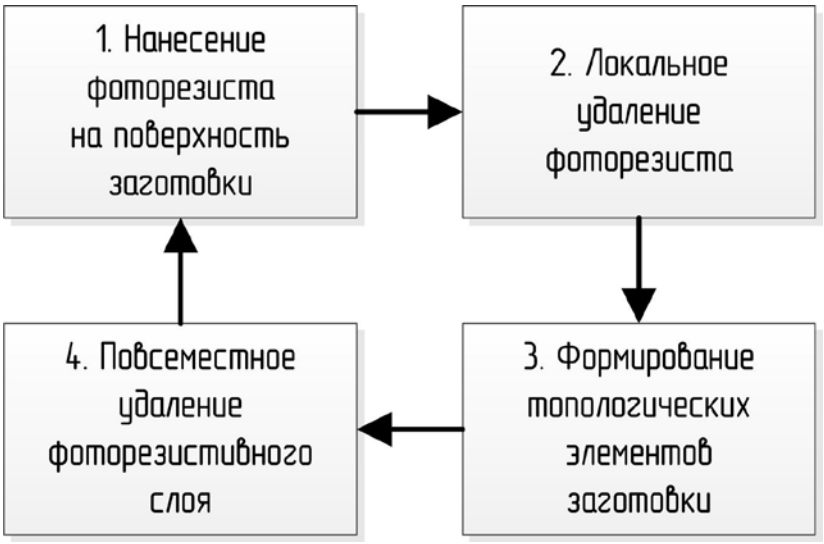


Рис. 3. Упрощенный типовой ТП фотолитографии

Из рис. 3 видно, что управляемая адгезия особенно важна применительно к пп. 1, 2, 4. Рассмотрим каждую из этих технологических операций в отдельности, сравнив их интерпретацию с применением «умного» фоторезиста и без.

При *нанесении фоторезиста на поверхность заготовки (п. 1)* в обоих случаях требуется обеспечить требуемый высокий уровень адгезии: с применением «умного» фоторезиста эта операция усложняется тем, что требуется поддерживать внешние условия высокой адгезии в зависимости от требований, диктуемых выбранным материалом.

При *локальном удалении фоторезиста (п. 2)* в типовом ТП используется УФ излучение, которое (в зависимости от типа фоторезиста) либо его закрепляет на поверхности заготовки, либо наоборот – делает уязвимым для некоторых травителей – далее уязвимые участки посредством применения агрессивных реактивов удаляются с поверхности заготовки [1]. Применение фоторезиста с управляемой адгезией позволит существенно упростить задачу, реализовав принцип местного качества, локально ухудшив адгезию «умного» фотополимера с поверхностью заготовки. Например, если адгезия фоторезиста зависит от воздействия излучения с определенной длиной волны, то его достаточно просто облучить и смыть, не прибегая к применению вышеупомянутых травителей (см. рис. 4).

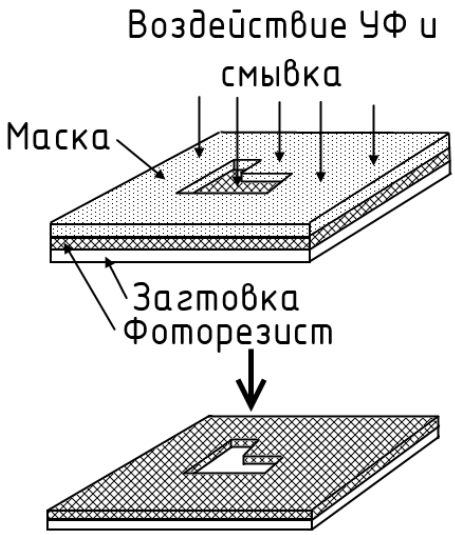


Рис. 4. Операция локального удаления «умного» фоторезиста

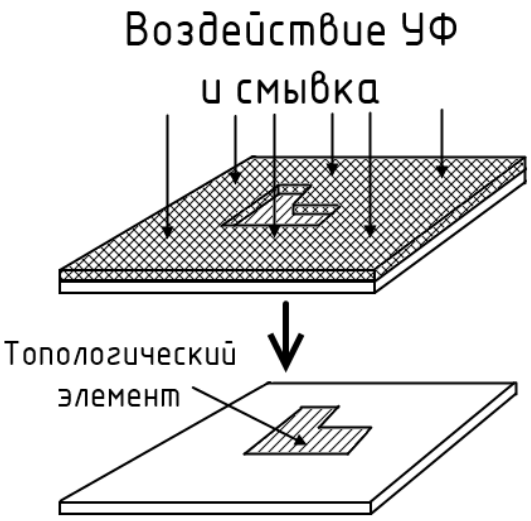


Рис. 5. Операция повсеместного удаления «умного» фоторезиста

При *повсеместном удалении фоторезистивного слоя (п. 4)* перед нами возникают те же задачи, что и в п. 2, с одной лишь разницей: фоторезист требуется удалить всецело, притом при типовой фотолитографии эти участки являются непроэкспонированными и требуют для своего удаления травители отличные от п. 2 [1], что делает процесс затратным и нетехнологичным в сравнении с фотолитографией с применением фоторезиста с управляемой адгезией.

Во втором случае, чтобы избавиться от фоторезиста, будет достаточно всецело воссоздать условия из п. 2, задающие фотополимеру состояние плохой адгезии к заготовке. Развивая пример из п. 2, фоторезист можно облучить полностью и затем просто смыть (см. рис. 5).

Заключение

Фотолитография на сегодняшний день не стоит на месте: микроэлектроника лавинообразными темпами движется вперед, осваиваются все более точные технологические процессы, инновационные инженерные решения позволяют обойти ограничения старых – именно к таким умозаключениям приводит сопоставление общей тенденции распространения умных материалов и свойств вновь появляющихся разнообразных фоторезистов и других фоточувствительных композиций. Быть может, внедрение подобного «умного» фотополимера с управляемой адгезией как раз и станет новой вехой в развитии устоявшихся методов фотолитографии, повысив их технологичность и расширив область применения.

Литература

1. Моро У. Микролитография: В 2-х ч. Ч.1: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 605 с., ил. – ISBN 5-03-001716-X
2. Химическая энциклопедия. В 5 т. Т. 5 / ред. Н.С. Зефиров. М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. 782 с.
3. Макушин М., Мартынов В. Нужен ли России самодельный EUV-нанолитограф?! Техника и экономика современной литографии // Фотоника. 2010. № 4. С. 6–13
4. Зеленцов С.В., Зеленцова Н.В. Современная фотолитография. Нижний Новгород: издательство НГУ, 2006. 56 с.
5. Анчуткин В., Гущин О. EUV-нанолитография. Проблемы и перспективы развития // Фотоника. 2010. № 1. С. 10–15
6. Герасимов А.М., Кундикова Н.Д., Микляев Ю.В. Использование наночастиц диоксида титана для управления показателем преломления фоторезиста SU-8 для синтеза трехмерных фотонных кристаллов // Вестник ЮУрГУ. – 2012. – Серия «Математика. Механика. Физика». – № 34. – В. 7. – С. 142-145.
7. Пахомов С. Второе дыхание 193-нм литографии, или Особенности 32-нм техпроцесса // КомпьютерПресс. 2009. № 3. С. 76–79
8. Damean N., Parviz P., Lee J., Odomand T., Whitesides G. Composite ferromagnetic photoresist for the fabrication of microelectromechanical systems // Journal of Micromechanics and Microengineering. 2005. № 15. С. 29–34
9. Тагер А. А. Физико-химия полимеров. – М.: Научный мир, 2007 – 573 с.
10. Макарчук В.В., Родионов И.А., Цветков Ю.Б. МЕТОДЫ ЛИТОГРАФИИ В НАНОИНЖЕНЕРИИ - Москва, МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2011. Сер. Библиотека "Наноинженерия" Том 8. 175 с.

ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ IBEACON К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ОБЩЕЙ НАВИГАЦИИ

Евдокимов Г. М., Василова Е. В., Ревзин Г. Г., Дельцов И. Л.
Научный руководитель: Власов А. И., к. т. н., доцент
МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

ASSESSMENT OF APPLICABILITY OF TECHNOLOGY OF POSITIONING OF IBEACON TO THE SOLUTION OF PROBLEMS OF THE GENERAL NAVIGATION

Evdokimov G. M., Vasilova E. V., Revzin G. G., Deltsov I. L.
Research supervisor: Ph. D. Vlasov A. I.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В предлагаемой работе производится анализ возможности использования технологии позиционирования Bluetooth iBeacon в решении общих задач навигационного характера. Рассматривается устройство и принципы функционирования iBeacon. Проводится анализ организационных, технических и технологических проблем, связанных с внедрением технологии. Рассматриваются существующие конкурентные решения, присутствующие на рынке, и приводятся выводы по возможности использования системы в различных задачах, связанных с навигацией.
Ключевые слова: iBeacon, навигация, применимость, позиционирование, трилатерация

Abstract
In this work it is analyzed the possibility of using Bluetooth iBeacon positioning technology in solving common tasks of navigation character. We consider the device and principles iBeacon operation. Baggage organizatsonnyh analysis, technical and technological problems related to the introduction tehnolgii. We consider the existing competitive solutions available on the market, and provides conclusions on the possibility of using the system in a variety of tasks related to navigation.
Keywords: iBeacon, navigation, applicability, position fix, trilateration

Введение

На сегодняшний день существует несколько основных подходов к реализации навигации внутри помещений, некоторые из них:

- распознавание элементов помещений и поиск соответствий в однажды полученной трёхмерной модели помещения (SLAM);
- навигация по уровню сигналов беспроводных соединений с заранее известными координатами точек доступа (Beacon, WPS и др.);
- магнитная навигация;
- акустическая навигация.

Навигация внутри помещений имеет некоторые отличия от обычной навигации на местности в контексте решаемых задач. Навигация на основе инерциальных и спутниковых систем чаще всего решает задачу обеспечения движения транспортных средств, беспилотных и пилотируемых аппаратов и других технических средств, пеших колонн и отдельных пешеходов по заданному маршруту. Для решения описанной задачи необходимо отслеживать географические координаты и скорость объекта.

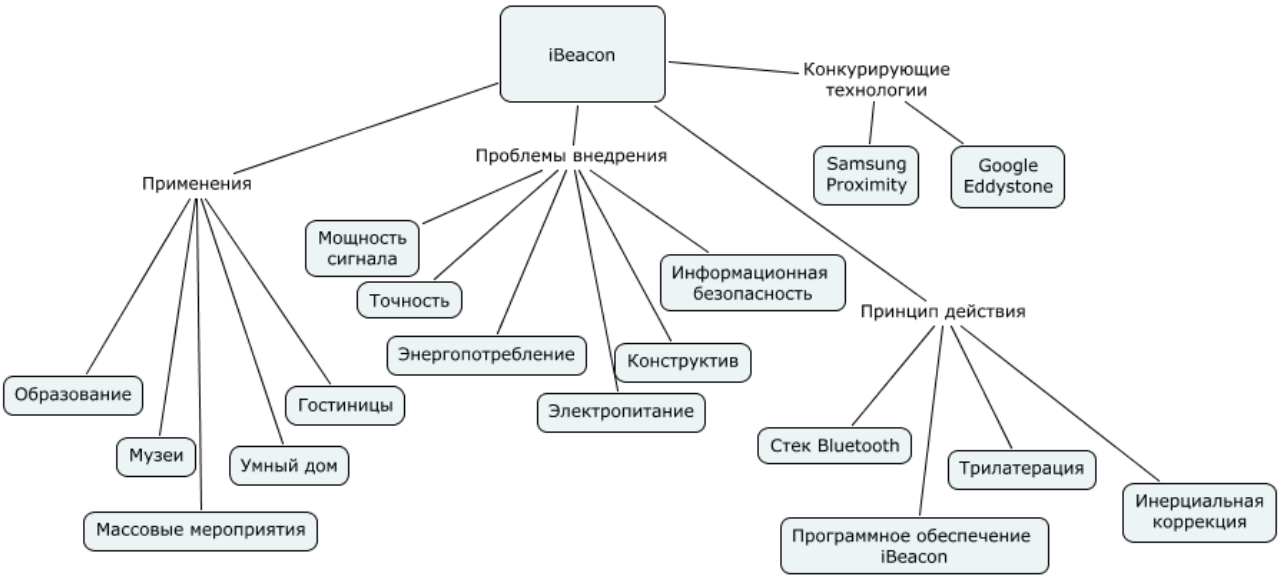


Рис. 1. Концептуально-абстрактная модель знаний о iBeacon

В данной статье рассматривается вопрос пригодности iBeacon к решению задач общей навигации по результатам сравнений по различным критериям и областям знаний (см. рис. 1).

1 Принцип действия технологии iBeacon

В маячках используется технология Bluetooth Smart, которая является последней версией стандарта Bluetooth, обладает низким энергопотреблением и предназначена для передачи небольших объемов данных [2].

Устройство с установленным программным обеспечением изменят расстояние до маячка, устройство получает данные о нем и обрабатывает их. Выполнив поиск в базе данных координат маячка можно получить примерное расстояние от устройства до некоторой точки. Замер расстояния производится по уровню сигнала Bluetooth (RSSI) в сравнении эталонным уровнем сигнала на расстоянии 1м (Measured Power).

Выполнив измерение до маяка можно сделать вывод о нахождении устройства в определенной зоне. Выполнив измерение расстояния до трех и более маяков можно вычислить координаты устройства относительно маяков. Данный метод следует из простой евклидовой геометрии и называется трилатерацией. Трилатерация не требует значительных вычислительных ресурсов и широко применяется в навигации. Визуализация метода трилатерации представлена на рисунке 2.

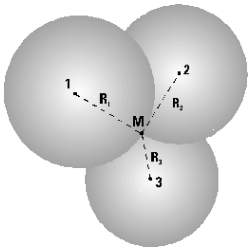


Рис. 2. Определение координат точки методом трилатерации

Антенна соединена напрямую с процессором и излучает радиоволны частотой 2,4 ГГц. Она имеет изогнутую форму, так как электромагнитное поле вокруг прямого провода принимает форму тора, что ведет к образованию «пустых» зон. Таким образом, изогнутая форма антенны приводит к тому, что магнитное поле принимает форму идеальной сферы.

Математическая обработка полученных результатов происходит при помощи фильтра Калмана. Фильтр убирает шумы измерения (случайные всплески) и выдаёт результат, как с учетом результатов текущих измерений, так и с учётом предсказанных результатов на основе прошлых измерений [3]. Фильтр использует динамическую модель системы (закон движения) и 2 повторяющиеся циклически стадии: предсказание и корректировка.

2 Технические и организационные проблемы внедрения

Проблемы применения iBeacon можно условно разделить на следующие категории:

- точность;
- питание маячков;
- энергопотребление клиентских устройств;
- конструктивные проблемы;
- информационная безопасность.

Рассмотрим подробнее вышеуказанные проблемы. Точность – главная характеристика любой системы, связанной с навигацией. В технологии iBeacon точность является одной из главных проблем широкого применения. «Сырые» данные с приемника дают сильные колебания уровня RSSI в лабораторных условиях и без значительной обработки малопригодны для навигации. Существенной проблемой является значительное число факторов, значительно влияющих на RSSI.

Питание маячков не является критической доской в бочке Либиха в использовании iBeacon в indoor-навигации. Название стандарта Bluetooth LowEnergy себя оправдывает, при питании от батарейки CR2032 маячок Beacon способен работать год, транслируя широковещательный кадр раз в секунду. Однако, даже при более длительной работе от автономного источника питания существуют проблемы в разрядке автономных источников питания.

Энергопотребление клиентских устройств является значительной проблемой ввиду требований пользователей к высокой автономности, выраженной, в частности, длительным временем работы от батареи. Ввиду низкой точности и высоких колебаний RSSI клиентскому устройству необходима математическая обработка показаний, увеличение точности посредством введения элементов инерциальной навигации с применением встроенных многоосевых гироскопов и акселерометров [5].

Конструктивные проблемы проявляются в необходимости расположить радиомаяки Beacon в помещении с соблюдением следующих требований:

- минимизация гашения сигнала стенами, предметами интерьера и т.д.;
- возможность доступа для действий по обслуживанию маяков;
- расположение радиомаяков без ущерба для интерьера помещения;
- удобное закрепление радиомаяка в месте расположения.

На данный момент свои решения предлагает множество компаний, потому в большинстве случаев возможно найти решение для конкретной задачи.

Информационная безопасность становится важным вопросом при рассмотрении применения технологии iBeacon в платежных и иных системах, в которых навигация может использоваться в процессе обработки конфиденциальных данных. Однако, при использовании iBeacon в реализации общедоступных справочных систем, вопрос безопасности данных не столь актуален.

3 Обзор конкурирующих технологий и методов

Рассмотрим альтернативные технологии [6-9]. Google создала собственную платформу для работы с маячками под названием Eddystone [6]. Данная платформа задействует акустику и микрофоны мобильных устройств. Совместимые с Eddystone маячки генерируют звук, неслышимый человеческим ухом, но улавливаемый микрофоном смартфона для связи с гаджетом. Данную разработку планируют применять для получения

информации на автобусных остановках (расписания и задержки транспорта), в общественном транспорте (информация о маршруте, название следующей станции и т.п.), даже телевизор может выступать в роли маячка, отправляя данные о программе передач или описание текущего шоу.

Samsung анонсировала Proximity – фирменную технологию позиционирования внутри помещений [7]. Южнокорейский гигант надеется с помощью Proximity поднять уровень обслуживания в магазинах, торговых центрах, ресторанах, стадионах, музеях, аэропортах и других коммерческих организациях. Samsung Proximity также может отправлять на смартфоны разного рода нотификации. Это могут быть информационные сообщения о каких-то скидках или специальных предложениях, в зависимости от отдела магазина, в котором находится покупатель, или уведомления, которые помогут в поисках места на большом стадионе или в театре. Поддержка этой технологии станет одной из отличительных особенностей Android-смартфонов. При этом в отличие от iBeacon, для отправки уведомления пользователю не потребуется устанавливать мобильные приложения от того же вендора.

Заключение

Учитывая вышесказанное, можно сделать вывод о непригодности iBeacon для indoor-навигации в том виде, в котором мы видим, например, автомобильные системы навигации, когда разброс прибора сравним с габаритами объекта, которому необходима геопозиция (автомобиль, седельный автопоезд, корабль, пешеход при хорошем приёме). Однако, примерное определение позиции внутри помещения уже открывает простор для новых идей и технологий в области маркетинга, искусства, медицины и многих других областей.

Технология iBeacon дает сильный толчок к развитию технологий навигации внутри помещений, порождая спрос на саму возможность такой навигации. Наличие успешных проектов порождают некоторую тенденцию к развитию существующих технологий и разработке новых.

Литература

1. Официальный сайт объединения Bluetooth SIG. Электронный ресурс. Режим доступа: https://www.bluetooth.com/. Проверено 20.12.2015.
2. Программирование взаимодействия с BLE- устройствами. Электронный ресурс. Режим доступа: http://developer.android.com/intl/ru/guide/topics/connectivity/bluetooth-le.html. Проверено 20.12.15.
3. Кузовков Н. Т., Салычев О. С. Инерциальная навигация и оптимальная фильтрация. М.: Машиностроение, 1982.
4. Jordan Crittenden, Parker Evans. MEMS Inertial Navigation System. Cornell University, United States, 2008.
5. Salychev O. S., Voronov V. V. Low cost INS/GPS integration: concepts and testing. (англ.) - Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Canada
6. Спецификация Eddystone. Электронный ресурс. Режим доступа: https://github.com/google/eddystone Проверено 20.12.15.
7. Описание Samsung Proximity. Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.engadget.com/2014/11/12/samsung-proximity/ Проверено 20.12.15.
8. Дубовик Н.Н., Туманов В.М., Ногин О.А. АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НАВИГАЦИИ // Современные инновации. 2016. № 3 (5). С. 29-34.
9. Дубовик Н.Н., Лавров А.В., Ногин О.А., Туманов В.М. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НАВИГАЦИИ И ТРАССИРОВКИ МАРШРУТОВ С ЛИНЕЙНЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 11-2 (42). С. 35-42.

ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЕ ТРАВЛЕНИЕ В ИНДУКТИВНОЙ СВЯЗНОЙ ПЛАЗМЕ

Филиппов И.А.
Научный руководитель: д.т.н., профессор, Шахнов В.А.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ-4, Москва, Россия

PLASMA ETCHING IN ICP SOURCE

Filippov I.A.
***Supervisor: Dr., Prof.*, Shakhnov V.A.**
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация
Рассмотрены ключевые параметры плазмы для создания высоко-аспектных структур в кремнии. Для устранения эффекта образования кремниевых вискеров на дне протравленных структур выделены необходимые соотношения давления, потоков газов и вкладываемой мощности. В качестве инструмента анализа плазмы применялся оптический спектрограф эмиссии фотонов.

Abstract
In this article, main plasma parameters optimized for creating high-aspect structures in silicon. To eliminate the effect of the formation of silicon “black grass” at the bottom of the etched structures, ratios of pressure, gas flow and the injected power are studied. The plasma was analyzed by optical emissions pectrograph.

Введение

Современная полупроводниковая промышленность предъявляет высокие требования к технологии создания полупроводниковых структур. Одной из ключевых технологий после литографии, является плазмохимическое травление (ПХТ). Современные устройства, состоящие из множества функциональных, жертвенных и технологических слоев должны соответствовать очень узкому диапазону допустимых значений, такие как угол профиля, ширина окна травления, минимальный подтрав, высокие аспектные соотношения. Данные требования возникают из особенностей типов устройств, например, нано-электромеханических систем (НЭМС). НЭМСы являются следующим этапом миниатюризации после МЭМСов, характерными примерами, упоминаемыми в литературе последних лет, являются: нанокантиливеры с интегрированными электронными регистрирующими датчиками перемещения на основе пьезорезистивных тонких металлических пленок [1], нано-электромеханические преобразователи движения [2], газовые сенсоры [3], наносенсоры [4].

Процессом создания высоко-аспектных структур в кремнии является Bosch-процесс. Он состоит из двух этапов: первый этап – пассивация полимером, образующимся из плазмы, для создания защитного слоя на боковых стенках, второй – химическое травление кремния. В качестве травящего газа используется гексафторид серы (SF_6), пассивирующего - октафторциклобутан (C_4F_8).За счет быстрого чередования (доли секунды) этих двух этапов удается достигать значительных глубин. Так в работе [5] приведены результаты травления щелей с аспектным соотношением 300:1, через алюминиевую маску толщиной 500 нм, осаждённую термическим напылением.

Структуры с высокими аспектными соотношениями применяются в НЭМС, но при их травлении возникает ряд проблем: снижение скоростей травления с уменьшением ширины окна травления[6-7], возникновение кремниевых вискеров на дне структуры[8], уменьшение длины пробега заряженных частиц, в следствии этого затрудняется как доставка активных травящих веществ, так и откачка продуктов реакции, загрузочный эффект[9].

Для устранения этих эффектов и выпуска годной продукции требуется планировать многофакторный эксперимент и учитывать влияние параметров друг на друга. Основными параметрами, характеризующими процесс травления, являются: мощность источника

плазмы, потоки процессных газов, напряжение смещения на подложке, утечка гелия (характеристика наличия теплового контакта) и давление.

Мощность источника плазмы позволяет изменять концентрацию и плотность потока заряженных частиц в реакторе. При достижении наименьшего значения давления внутри камеры, увеличивается длина свободного пробега частиц. В данной работе исследуется взаимосвязь этих двух ключевых параметров и их влияния в Bosch-процессе.

Эксперимент

Для травления кремния с помощью Bosch-процесса использовалась установка плазмохимического травления с источником индуктивно связной плазмы (ИСП).Параметры процесса приведены в таблице 1. В качестве маски использовался алюминий.

Таблица 1. Параметры процесса

Этап	SF_6, см^3/сек	C_4F_8, см^3/сек	Давление, мТорр	Мощность ICP, Вт	Смещение, Вт
Осаждение	10	200	50	1500	0
Травление	100	10	25	1500	100

При изменении давления в реакторе анализировался ее спектр оптической эмиссии, а также измерялась скорость травления кремния. На построенной зависимости скорости травления от давления(рис.1) видно, что при увеличении давления до значения 40 мТорр в реакторе, скорость травления возрастает.

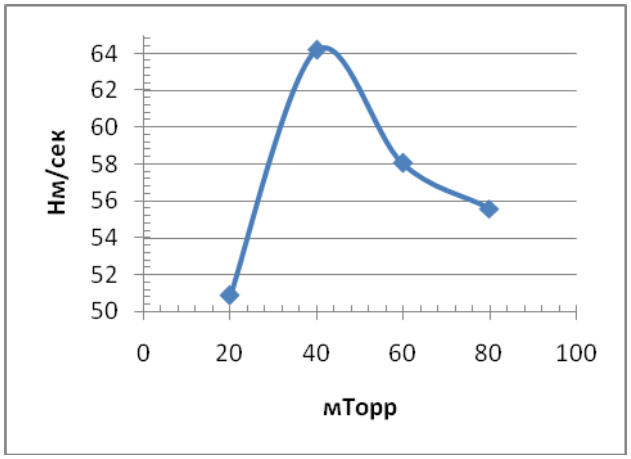


Рис. 1. Зависимость глубины травления от давления

Это связано с увеличением плотности потока радикалов и ионов, который возрастает с увеличением давления, но дальнейшее повышение давления от 45 до 80 мТорр снижает скорость ПХТ и приводит к появлению дефектов на дне структуры(рис. 2а), что связано с уменьшением длины свободного пробега частиц из-за их плотной упаковки в объеме реактора.

Для полного анализа процесса, был проведен обратный эксперимент изменения давления от 25 до 75 мТорр во время шага пассивации и уменьшением от 75 до 25 мТорр во время шага травления. При данных значениях в плазме образовывался избытокCF3, который приводил к эффекту микромаскирования и образованию кремниевых дефектов (рис. 2б).

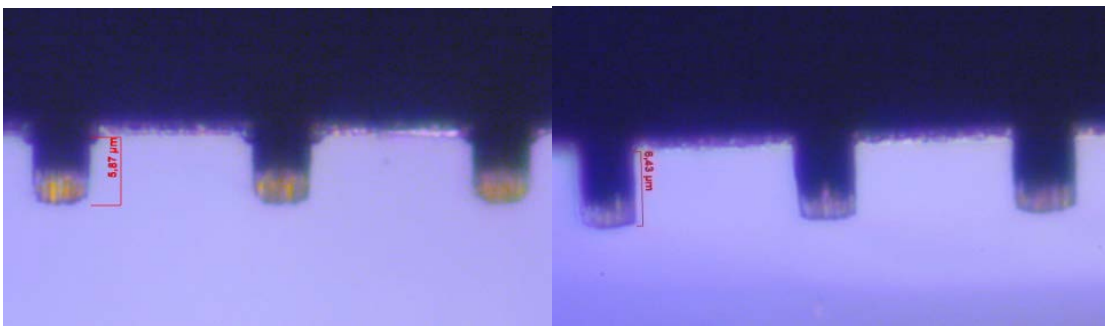


Рис. 2. Дефекты образовавшиеся на дне структуры в результате ПХТ
а) – давление шага пассивации повышалось от 25 до 75мТорр, шага травления понижалось от 75 до 25мТорр;б) – давление шага пассивации от 75 до 25мТорр, шага травления от 25 до 75мТорр.

Для лучшего понимания влияния давления вовремяBosch-процесса с высоким АП анализировался спектр оптической эмиссии (СОЭ) с использованием прибора OceanOptics. СОЭ позволяет оценивать кинетику и реакционные механизмы плазмы, рассматривая образующиеся внутри нее частицы. В работе [10] с помощью СОЭ выделено отношение интенсивности эмиссии фотонов между радикалами фтора и кислорода, которое влияет на изменение профиля травления. Авторы утверждают, что с увеличением количества радикалов O_2 полимер преимущественно образуется на стенках структуры, что в дальнейшем влияет на профиль травления.

Во время процесса травления SF_6 плазмой, образуются фторные молекулы, длины волн которых соответствуют 683 -739 нм, которые в дальнейшем химически травят Si и образуют SiF_{1-3} и летучийSiF_4 [11]. Для дополнительного анализа была исследована группа пиков на длинах волн 600 - 800 нм, которые соответствуют SiF. Пики на длинах волн от 250 – 450 нм являются радикалами кремния и углерода, образовавшимся в переходный процесс после пассивации.

На рисунке 3, показано изменение интенсивности спектра оптической эмиссии для трех длин волн 257 (CF3), 515 (C), 703 (SiF) нм по времени. В начале шаге травления отчетливо наблюдается прирост интенсивности травления полимера, образовавшегося во время шага пассивации, так как в начале происходит удаление его со дна щели.

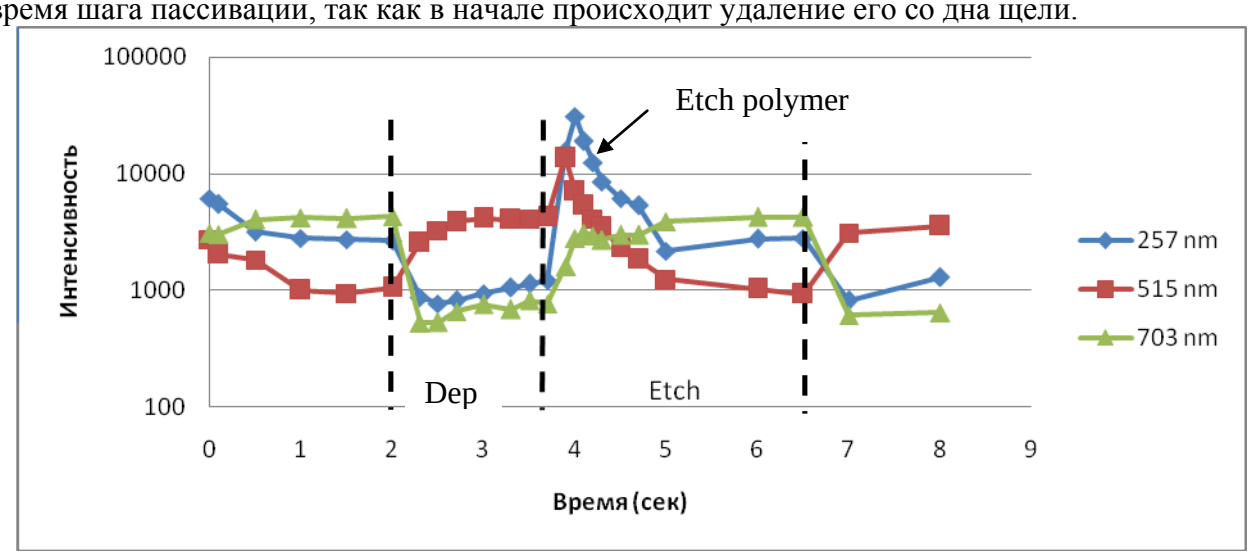
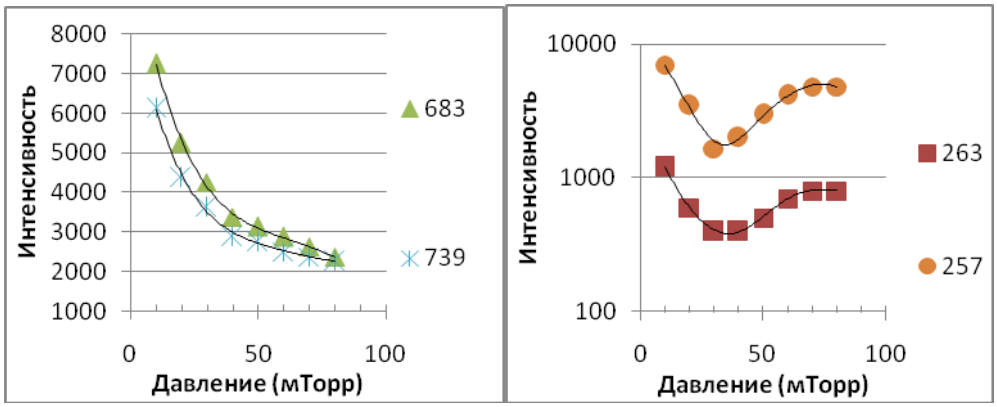


Рис. 3. Интенсивности СОЭ для длин волн 257, 516 и 703 нм в процессе ПХТ

На шаге травления в диапазоне давлений от 10 до 40мТорр, интенсивность пиков, соответствующих радикалам фтора уменьшается, что свидетельствует об эффективном протекании реакции ПХТ (рис. 4а), так как большинство радикалов фтора уходят на

химическое взаимодействие с кремнием и образованию SiF_4.Однако при давлениях 40 – 80 мТорр интенсивность ионов фторане меняется, это свидетельствует о том, что их количество остается постоянным. На этапе пассивации (рис 4б) на длинах волн 257 и 263 нм, соответствующих углеродсодержащим частицам, в диапазоне давлений от 40 - 80 мТорр возрастает интенсивность пиков, что может говорить о высокой концентрации частиц CF_3в плазме.



А) Б)

Рис. 4. а) Интенсивности радикалов 683 нм (F), 703 нм (F), 739 нм (F); б)-интенсивности радикалов 257 нм (C) и 263 нм (Si) во время травления

Эмиссия фотонов во время шага пассивации уменьшается с увеличением давления (рис. 5).Траектории ионов полимер на этапе пассивации предположительно, сильно отклоняется от вертикального угла и не достигают структуры.

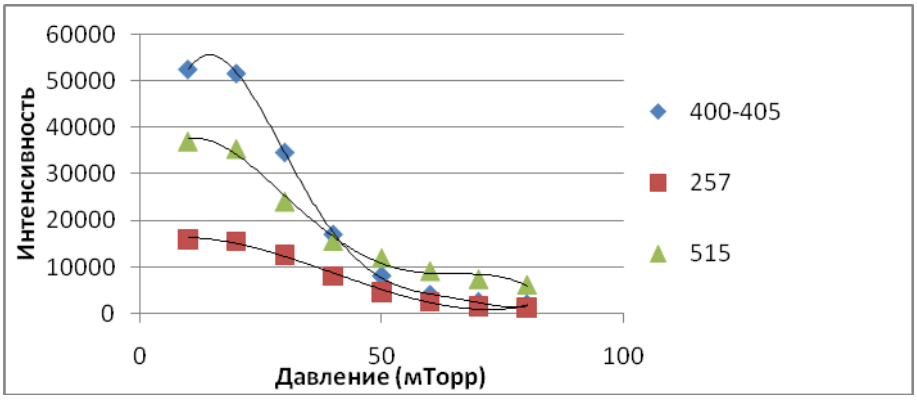
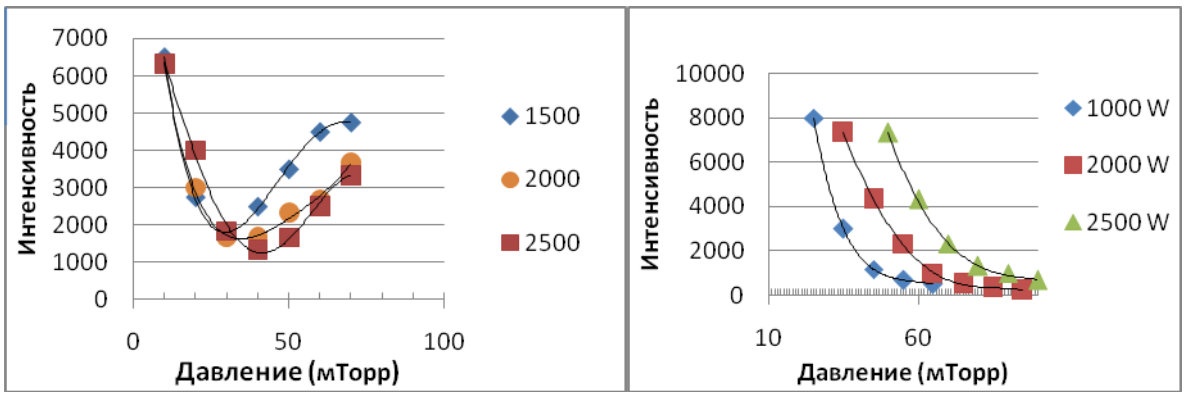


Рис.5. Зависимости интенсивности спектра оптической эмиссии от давления на длине волн 257 нм (C), 400-405 нм (Si), 515 нм (C) во время этапа пассивации

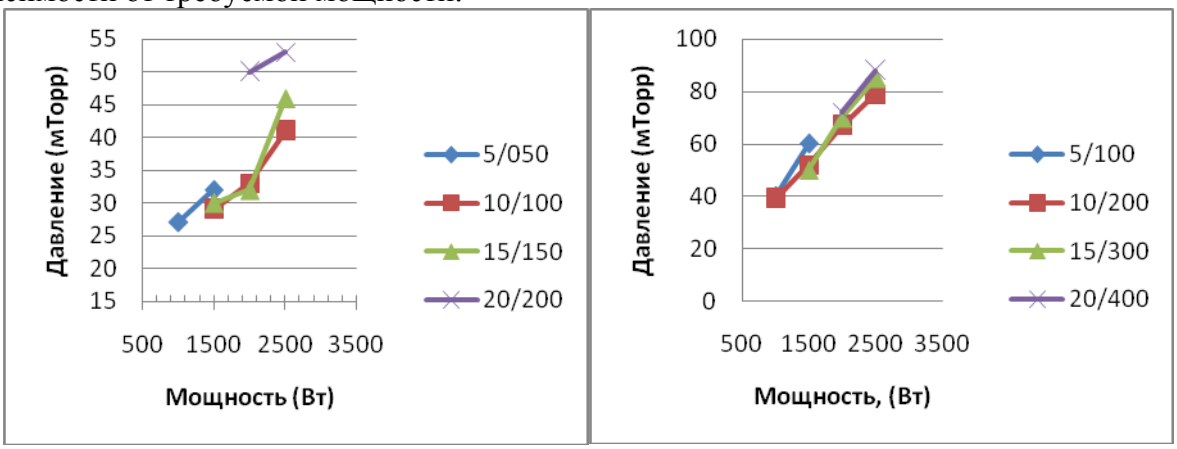
Зависимости изменения интенсивности отдельных пиков спектра плазмы от давления и анализ структуры пленки, показал, что можно выделить оптимальные значения давления в реакторе для этапов травления и пассивации. Для шага травления оптимальное значение соответствует минимуму интенсивности в точке перегиба кривой, что будет соответствовать максимальной скорости травления. Во время этапа пассивации необходимо получить полимер максимальной толщины, что соответствует точке пересечения касательной к кривой на СОЭ, полученной на длине волны 400-405 нм. Полученные зависимости представлены на рисунке 6.



А) Б)

Рис. 6. Интенсивности на длине волны257 нм (А) и 400-405 нм (Б)при разной мощности источника и давления в камере

Аналогично были построены зависимости мощности, расхода газа и давления на шаге травления (рис. 7а), где отчетливо показано изменение давления для разных потоков в зависимости от требуемой мощности.



А) Б)

Рис. 7. Интенсивности на длине волны 257 нм (А) и 400-405 нм (Б) при разной мощности источника и давления в камере

Такой же график был построен для шага пассивации (рис. 7б).

Заключение

Изменение давления и мощности источника плазмы в процессах ПХТ напрямую влияет на состав и преобладание той или иной активной частицы в объеме реактора, что было показано анализом СОЭ плазмы.

Были измерены следующие показатели: скорость травления и спектр оптической эмиссии. Выделенные соотношения между параметрами при анализе состава плазмы с помощью спектра оптической эмиссии решают проблему доставки частиц в структурах с высоким АП, а также исключают возникновение вискеров на дне. Эти соотношения позволяют быстро планировать эксперимент, выбирая давление в зависимости от мощности.

Исследуя полученные спектры при разных давлениях на этапе травления и выявив зависимость интенсивности отдельной группы радикалов, можно сказать, что при постоянной мощности ИСП источника и при давлениях от 5 до 40 мТорр скорость травления возрастает вследствие увеличения количества травящих активных частиц и эффективной их доставке к поверхности структуры. В пределах значений от 40 до 80мТорр, характер интенсивности плазмы SF_6уменьшается, скорость травления также начинает снижаться. Расшифровка спектра с помощью базы данных NISTAtomicwavelengthtable, показала

увеличение образования молекул $SiF_{1,2,3}$,которые являются менее летучими по сравнению с SiF_4, что приводит к образованию дефектов на дне.

Выявленные зависимости значения давления от мощности плазмы позволяют эффективно решать данную проблему корректируя оба параметра для структур с высоким АП, создаваемым с помощью Bosch-процесса.

Литература

1. Xinxin Li,1 HaitaoYu,1 XiaohuaGan, XiaoyuanXia, PengchengXu, JungangLi, MinLiu, andYongxiangLi.Integrated MEMS/NEMS Resonant Cantilevers for Ultrasensitive Biological Detection // Journal of Sensors. 2009 - Volume 2009
2. K. L. Ekinci. Prof. Electromechanical Transducers at the Nanoscale: Actuation and Sensing of Motion in Nanoelectromechanical Systems (NEMS) // Small. 2005. №Volume 1, Issue 8-9
3. Mo Li, H. X. Tang, M. L. Roukes. Ultra-sensitive NEMS-based cantilevers for sensing, scanned probe and very high-frequency applications // Nature Nanotechnology. 2007.
4. Tony Chopard, Therese Leblois. High Sensitive Mass Detection using GaAs Coupled Micro Resonators // Conference Proceedings Paper – Sensors and Applications. 2014
5. Reza Abdolvand, Farrokh Ayazi. An advanced reactive ion etching process for very high aspect-ratio sub-micron wide trenches in silicon // Sensors and Actuators A: Physical. 2008. №Volume 144, Issue 1.
6. E Sarajlić, M J de Boer, H V Janse, N Arnal, M Puech, G Krijnen1 and M Elwenspoek. Advanced plasma processing combined with trench isolation technology for fabrication and fast prototyping of high aspect ratio MEMS in standard silicon wafers // Journal of Micromechanics and Microengineering. 2004 . №Volume 14, Number 9
7. S. L. Lai, D. Johnson, R. Westerman. Aspect ratio dependent etching lag reduction in deep silicon etch processes // Journal of Vacuum Science & Technology. 2005. №Volume 24
8. De Boer, M.J., Gardeniers, J.G.E., Jansen, H.V., Smulders, E., Gilde, M.-J., Roelofs, G., Sasserath, Jay N., Elwenspoek M. Guidelines for etching silicon MEMS structures using fluorine high-density plasmas at cryogenic temperatures // Microelectromechanical System. 2002. №Volume:11 Issue:4.
9. Soren Jensen, Ole Hansen. Characterization of the Microloading Effect in Deep Reactive Ion Etching of Silicon // SPIE Proceedings. 2003. №Volume 5342.
10. Yeong-Dae Lim, Seung-Hwan Lee, Won Jong Woo. Roles of F and O Radicals and Positive Ions in a SF6/O2 Plasma in Forming Deep Via Structures // Journal of the Korean Physical Society. 2009. №Volume 54, №5.
11. M. M. Morshed, S. M. Daniels. Electron Density and Optical Emission Measurements of SF6/O2 Plasmas for Silicon Etch Processes // Plasma Science and Technology. 2010. №Volume 14, Number 4

QNX - ОС РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ НА АРХИТЕКТУРЕ INTEL X86

Карабашлыков Г.А.
Научный руководитель: Курносенко А.Е.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

QNX - REALTIME OS ON THE INTEL X86 ARCHITECTURE

Karabashlykov G.A.
Supervisor: Kurnosenko A.E.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье рассматриваются операционная система реального времени QNX. Представлено описание микроядерной архитектуры системы и её отличие от монолитной. Разработана загрузочная архитектура дистрибутива системы для аппаратной платформы Intel x86.

Annotation
The article deals with real time operating system QNX. Has been described microkernel architecture of the system and its difference from monolithic architecture. Has been developed the bootable architecture of the system distribution on the hardware platform Intel x86.

Введение

Операционные системы реального времени (ОСРВ) применяются для решения задач, предъявляющих жёсткие требования ко времени реакции системы на внешние воздействия [1, 2], такие как получение информации с датчиков или возникновение прерываний на периферийном оборудовании. Другими словами, ОСРВ гарантирует реакцию системы на возникающие события в течении конечного одинакового промежутка времени. Примером решаемых задач посредством ОСРВ могут быть моделирование в среде систем полунатурного моделирования, требующих жёсткой привязки к состоянию временного таймера и минимальной задержки реакции на возникающие сигналы датчиков системы. В качестве аппаратной платформы управляющей части систем полунатурного моделирования целесообразно применять архитектуру Intel x86 ввиду большой вычислительной мощности существующих решений, наличия большого разнообразия периферийных интерфейсов, разработанных и применяющихся на этой архитектуре (например PCI, PCI-E и т.д.), а также наличие большого количества готовых специализированных периферийных решений для данных интерфейсов (высокоточные АЦП, высокоскоростные сетевые карты и т.д.).

Целью данной работы является разработка загрузочного обеспечения дистрибутива на основе популярной UNIX-совместимой операционной системы реального времени QNX для аппаратной платформы Intel x86. В данной работе решается задача создания алгоритмов первичной инициализации загрузочных образов и задача создания архитектуры загрузки компонентов системы, обеспечивающих гибкость настройки инициализируемого оборудования и сервисов. Данная работа является актуальной ввиду отсутствия готовых решений поставленной задачи для данной аппаратной платформы.

1 Архитектура ядра QNX и алгоритм загрузки ядра в среде аппаратной платформы Intel x86

Ядро - основная часть операционной системы (ОС), обеспечивающая интерфейсы доступа прикладных программ и сервисов к аппаратной платформе, на которой выполняется ядро, а также набор системных вызовов, обеспечивающих взаимодействие прикладных процессов с ядром и друг с другом. Современные операционные системы реализуют

концепцию разделения памяти на область ядра (приложения выполняются в режиме ядра) и область пользователя (приложения выполняются в пользовательском режиме). При этом процессы, выполняющиеся в пользовательском режиме не имеют доступа к области памяти ядра, тем самым обеспечивается защита ядра операционно системы. Основной особенность ядра QNX является применение микроядерной архитектуры, при которой основной код ядра минимизирован и реализует лишь ограниченных набор примитивов работы с оборудованием и памятью. Остальные же компоненты ядра (такие драйверы, стеки протоколов и т.д.) вынесены в отдельные сервисы и службы, изолированные друг от друга, и работают в контексте пользовательского режима в виде отдельных программ. Это обеспечивает крайнюю стабильность ядра операционно системы. В случае ошибки в одном из сервисов операционно системы, завершает свою работу только служба, породившая ошибку. При этом другие службы продолжают работы. В случае монолитного ядра, в котором большинсво служб и драйверов работают контексте ядра, произойдёт исключение ядра и вся операционная система прекратит работу.

Ядро в ОС QNX включается в состав загрузочного образа [3], представляющего собой сжатый образ файловой системы, включающий:

– сам файл ядра
– набор драйверов и служб в виде исполняемых программ
– скрипт, выполняющийся сразу после загрузки ядра в память

Алгоритм загрузки ОС из загрузочного образа представлен на рисунке 1.

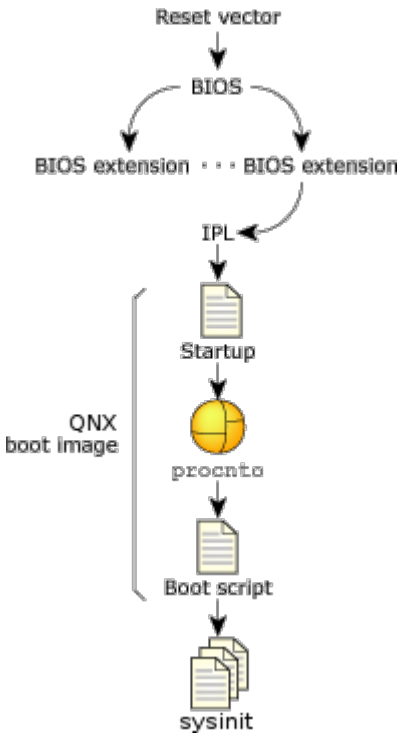


Рис. 1. Алгоритм загрузки QNX из загрузочного образа

При проектировании дистрибутива ОС важно понимать, что включать в состав загрузочного образа все службы, необходимые для решения прикладной задачи нет необходимости, т.к. при этом теряется возможность быстрого изменения состава загружаемых служб и драйверов без пересборки загрузочного образа. В загрузочном образе необходимо оставить только те компоненты, которые позволят получить доступ к энергонезависимому хранилищу (например жёсткому диску), на котором уже будут хранится остальные компоненты системы и загрузочные скрипты для их инициализации. Тем самым можно достигнуть большей гибкости при проектировании дистрибутива ОС.

2 Загрузочный состав и скрипты загрузки

На рисунке 2 представлен листинг скрипта загрузки, включённого в состав загрузочного образа разработанного дистрибутива QNX

```
#Создание ссылки на файл libc.so.3 в расположении /usr/lib/ldqnx.so.2
procmgr_symlink ../../proc/boot/libc.so.3 /usr/lib/ldqnx.so.2
#Запуск драйвера PCI
display_msg "Starting PCI server..."
seedres #Чтение данных PnP из BIOS
pci-bios #Запуск сервера PCI
waitfor /dev/pci #Ожидание окончания загрузки сервера PCI
#Загрузка драйверов USB
display_msg "Starting USB services..."
io-usb -duhci -dohci -dehci & #Загрузка сервера USB
waitfor /dev/io-usb/io-usb 4 #Ожидание окончания загрузки сервера USB
waitfor /dev/io-usb/devu-uhci.so 4 #Ожидание окончания загрузки драйвера USB 1.1 UHCI
waitfor /dev/io-usb/devu-ohci.so 4 #Ожидание окончания загрузки драйвера USB 1.1 OHCI
waitfor /dev/io-usb/devu-ehci.so 4 #Ожидание окончания загрузки драйвера USB 2.0 EHCI
#Загрузка драйверов жёстких дисков
display_msg "Starting HDD drivers..."
devb-ahci & #Загрузка драйвера SATA AHCI
devb-eide & #Загрузка драйвера IDE
devb-umass & #Загрузка драйвера USB Mass Storage
waitfor /dev/hd0t179 #Ожидание появление системного диска с разделом типа 179
mount -t qnx6 /dev/hd0t179 / #Монтирование его в качестве корневой файловой системы
#Запуск загрузочного скрипта системы
display_msg "Starting SysInit..."
waitfor /etc/system/sysinit #Ожидание окончания монтирования системного раздела
sh /etc/system/sysinit & #Запуск загрузочного скрипта системы
```

Рис. 2. Листинг скрипта загрузки, входящего в состав загрузочного образа

Как видно из рисунка 2, в момент загрузки загрузочного образа загружаются только драйвера, необходимые для монтирования жёсткого диска и обеспечения возможности исполнение основного загрузочного скрипта системы sysinit.

На рисунке 3 представлен листинг загрузочного скрипта sysinit.

```
#Устанавливаем переменные окружения
export PATH=/bin:/sbin:/usr/bin:/usr/sbin
#Проверяем наличие файла-флага первичной загрузки
if [ -e /etc/system/.firstbootrun ]; then #Если он найден
        sh /etc/system/firstboot #Исполняем скрипт первичной настройки системы
fi
#Последовательно загружаем скрипты из папки /etc/system/sysinit.d/
for file in /bin/S* ;do
        sh $file
done
```

Рис. 3. Листинг загрузочного скрипта sysinit

В папке /etc/system/sysinit.d/ содержатся загрузочные скрипты, загружающие отдельные компоненты системы. Файлы в этой папке именуются согласно шаблону «XYY-filename», где:

– X - флаг, определяющий, будет ли файл исполнятся во время загрузки: S - исполняется во время загрузки, D - отключен

– YY - десятичное число от 01 до 99, порядковый номер во время загрузки

– filename - имя файла, поясняющее назначение загрузочного скрипта

Такой механизм позволяет гибко менять порядок загрузки компонентов системы и включать или исключать их загрузку.

Описание стандартный скриптов загрузки в директории /etc/system/sysinit.d/ представлено в таблице 1.

Таблица 1 - Описание стандартный скриптов загрузки в директории /etc/system/sysinit.d/

S10-keyboard	Загрузка драйверов для клавиатуры
D11-mouse	Загрузка драйверов для мыши
S20-terminal	Загрузка служб поддержки терминалов
S30-pipe	Загрузка сервера UNIX PIPE
D40-net	Загрузка сетевых драйверов
D41-net-settings	Загрузка настроек сетевых соединений
D50-sshd	Загрузка службы удалённого управления SSH
D51-ftp	Загрузка FTP сервера
D52-qconn	Загрузка сервера удалённого мониторинга QNX QCONN
S90-tinit	Запуск терминальных сессий на виртуальных терминалах

Заключение

Применение микроядра в архитектуре ОС реального времени QNX позволяет гибко менять системный состав служб и драйверов. Разработанная загрузочная архитектура дистрибутива ОС реального времени QNX обладает следующими преимуществами: минимальный загрузочный образ системы, что ускоряет его загрузку, отсутствие необходимости переборки загрузочного образа для изменения алгоритма загрузки, возможность гибкой настройки порядка загружаемых компонентов системы и их состава.

Литература

1. Шахнов В.А., Власов А.И., Мороз А.А., Михненко А.Е. Операционная система реального времени – MeatrixRealTime как основа для построения экспериментальных систем обработки сигналов в реальном времени // Докладов сб. труд. Второй Международной конференции стран СНГ «Молодые ученые – науке, технологиям и профобразованию для устойчивого развития: проблемы и новые решения: Сборник научных докладов и тезисов» В 3-х ч. - М., 2000. Часть 2, 3. С. 100-103.
2. Шахнов В.А., Власов А.И., Князев В.С. Аппаратно-программный комплекс обработки сигналов для мониторинга и анализа состояния технических систем // В сб. трудов 3-й Международной конференции «Компьютерные методы и обратные задачи в неразрушающем контроле и диагностике» - М., 2002.
3. QNX Software Development Platform 6.6 Documentation. Режим доступа: http://www.qnx.com/developers/docs/660/index.jsp (дата обращения 25.01.16).
4. Колиснеченко Д. Руководство по командам и shell-программированию в Linux - СПб.: БХВ-Петербург, 2011.

ИНДИКАТОР ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВИЖЕНИЯ И ГЕНЕРАЦИИ ЦВЕТА

Гормакова М.А.
Научный руководитель: Юдин А.В.
ГБПОУ «Воробьёвы горы», Центр Технического Образования, Москва, Россия.
НИТУ МИСиС, Учебно-производственный центр “ARTCAD”, Москва, Россия.

TIME INDICATOR USING MOVEMENT AND COLOR GENERATION

Gormakova M.A.
Supervisor: Yudin A.V.
State budget vocational and educational institution "Vorobyovi Gori", Centre of Technical Education, Moscow, Russia.
NUST MISiS, Training and production center “ARTCAD”, Moscow, Russia.

Аннотация
В статье рассматривается система индикации времени, использующая необычный способ сообщения прошедшего времени пользователю. Приведено описание аппаратной и программной частей устройства, описан принцип действия и область специального применения. В заключении описаны планы по дальнейшему развитию проекта и универсализации разработки.

Abstract
The article explains the time display system that uses an unusual method of communicating the elapsed time to a user. The hardware and software parts are described together with operating principle and the special application area. In conclusion, plans for further development of the project and universalization of the hardware are presented.

Введение

Во время проведения различных соревнований очень часто требуется выполнять отсчет прошедшего времени матча. Это актуально и для соревнований мобильных роботов [1]. Обычно на соревнованиях такого рода судьи пользуются спортивными секундомерами, оповещая публику о начале и конце матча. Иногда время матча выводится на большой экран неподалеку от места проведения матча. И тот и другой вариант обладают значительными недостатками в части зрелищности, что немаловажно, поскольку соревнования привлекают зрителей и болельщиков.

Для улучшения зрелищности автор предлагает творчески подойти к вопросу индикации оставшегося времени матча для того, чтобы повысить зрелищность соревнований.

Цель проекта: разработать индикатор оставшегося времени матча соревнований мобильных роботов, использующий яркость света, цвет и движущиеся механические элементы для отражения пройденного времени. Система управления предполагает универсальное решение, которое можно будет использовать в различных системах с подсчетом и индикацией времени.

Индикатор устанавливается на поле для соревнований, для зрителей. С помощью формы, света и движения предполагается добиться эффекта естественного встраивания индикатора в игровую площадку.

Для изготовления индикатора используются возможности современной лаборатории цифрового производства: 3Д-принтер, станок лазерной резки и прецизионный фрезерный станок.

1 Аппаратная часть системы

Индикатор времени включает источник света, встроенные часы, электрическую схему управления яркостью и положением в пространстве, двигатель и драйвер, блок питания и провода/соединители (см. Рис.1). Электроника схемы управления строится на базе таймера 555, драйвера L293D и дискретных электронных компонентов. Вариантное исполнение использует микроконтроллер.

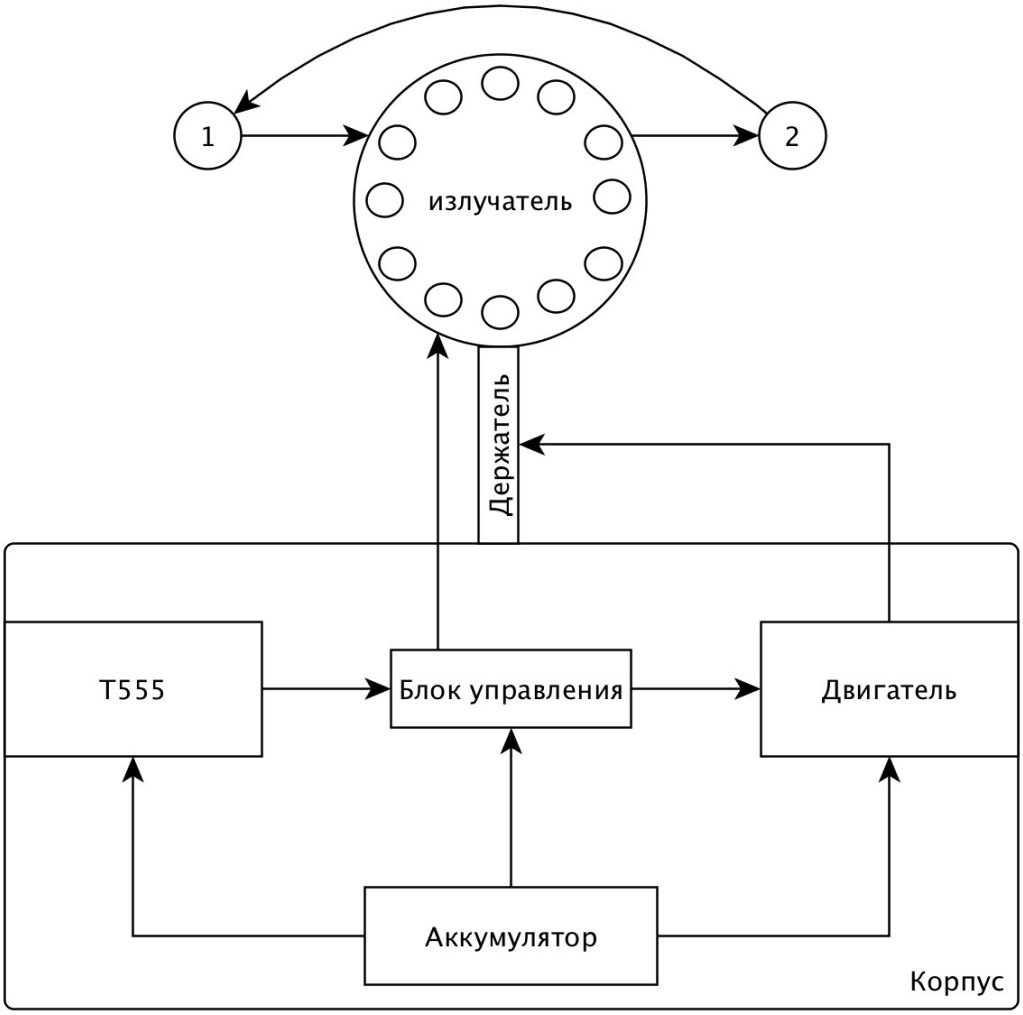


Рис. 1. Структурная схема устройства

1. Блок управления - преобразует сигналы от таймера 555 или контроллера в силовое воздействие на механику индикатора.
2. Двигатель - движет излучатель из точки 1 в точку 2 и обратно.
3. Блок питания (аккумулятор) — обеспечивает электроэнергией все блоки устройства.
4. Таймер555 - один из видов таймера позволяющий установить время, за которое светодиоды должны погаснуть.
5. Излучатель - светодиоды, расположенные на окружности (см. Рис.2).

Рис. 2. Светодиодный индикатор с программной регулировкой цвета

Параметры светодиодного кольца: 24 светодиода, на базе адресных светодиодов WS2812B [2], питается от 4-7 В постоянного напряжения. Использование данного вида светодиодов позволяет значительно упростить схему коммутации и количество необходимых сигнальных проводов (вместо минимальных 25-ти используется всего 4, при этом есть возможность менять цвет светодиода, а не только включать или выключать его).

Для того, чтобы изготовить корпус индикатора используется САПР Solvespave [3]. Данное программное решение позволяет разрабатывать плоские чертежи, которые затем легко использовать для обработки плоских материалов на станке лазерной резки (см. Рис.3).

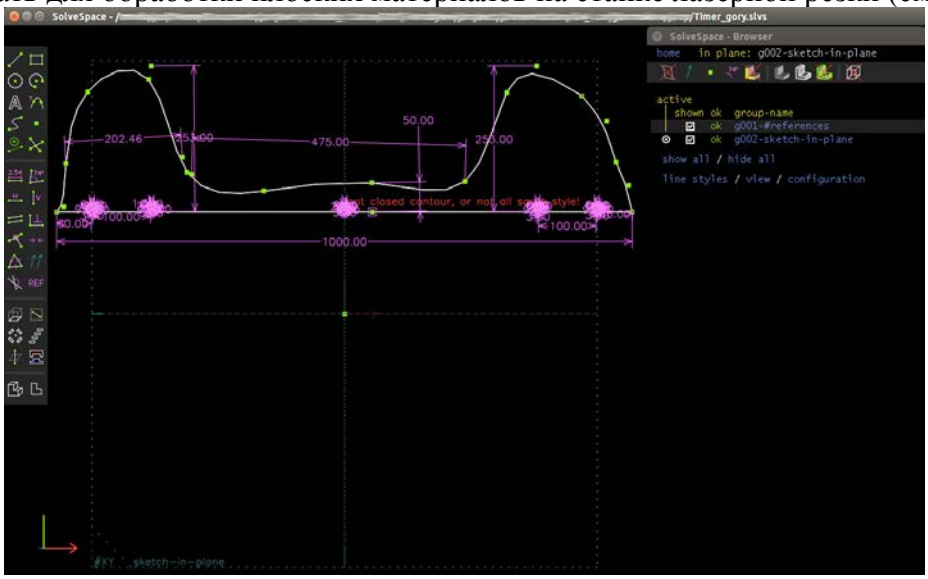


Рис. 3. Среда разработки модели устройства для автоматической лазерной резки

Кроме того, Solvespace также позволяет строить трехмерные объекты, но в данном проекте эта функция не используется.

2 Программная часть системы

Принцип работы и внешний вид вариантного исполнения индикатора для соревнований Евробот 2016 [1] показан на рисунке 4.

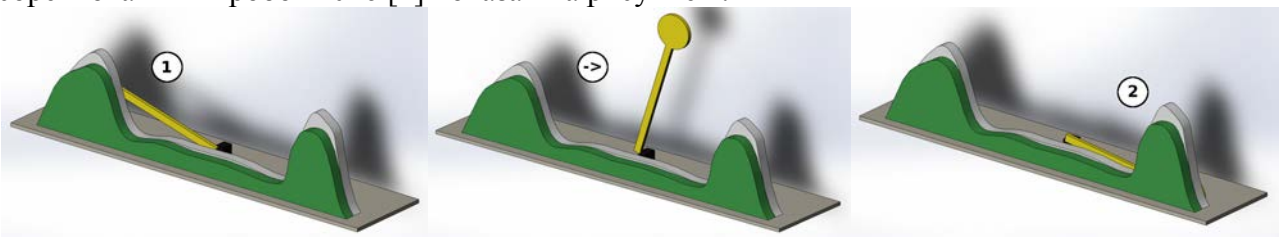


Рис.4. Принцип работы устройства и его внешний вид

На рисунке можно видеть 3 последовательных состояния системы, состоящей из двух «гор» и излучателя на длинном держателе. В состояние «1» индикатор приводится изначально и с него начинается работа всего механизма по команде извне. Состояние «->» промежуточное и представляет рабочее положение излучателя во время работы индикатора. Оно длится, как и матч соревнований Евробот, 90 секунд Состояние «2» завершающее. В этом состоянии устройство пребывает до перезагрузки.

На рисунке 5 представлены более подробно состояния, в которых может пребывать индикатор. Далее рассмотрим все состояния.

Чтобы выйти из состояния «2» нужно починить индикатор. Если необходимо включить индикатор, то есть перейти в состояние «3», необходимо нажать кнопку включения, если индикатор не включился, значит, он находится в состоянии «2» или разрядился аккумулятор (нет питания). Если это так, то надо поменять аккумулятор или подключить питание.

Рис. 5. Машина состояний устройства

Для того что бы перейти в состояние ожидания «4», нужно проверить работает ли таймер 555, для этого нужно что бы работал блок управления, если он не работает, то индикатор находится в состоянии «2». Если блок управления, таймер 555 и двигатель работают, то индикатор находится в состоянии «4».

Для перехода индикатора в состояние «5» или в рабочее состояние необходимо установить время на таймере 555, и проверить работает ли двигатель, если нет, то индикатор оказывается в состоянии «2», если работает и таймер установлен, индикатор находится в состоянии «5». Из состояния «5» индикатор может перейти в состояние «2», в состояние сброса «6» или в конечное состояние «7».

В состояние «6» индикатор перейдет, если произойдет перезагрузка системы.

После того как время установленное на таймере пройдет, индикатор перейдет в конечное состояние «7» из которого индикатор переходит в состояние «3» далее он может либо вновь перейти в состояние «4» и дальше, или перейдет в выключенное состояние «1».

На рисунке 6 представлен алгоритм работы индикатора. В нем представлена еще более подробно вся рассмотренная ранее логика работы системы индикатора.

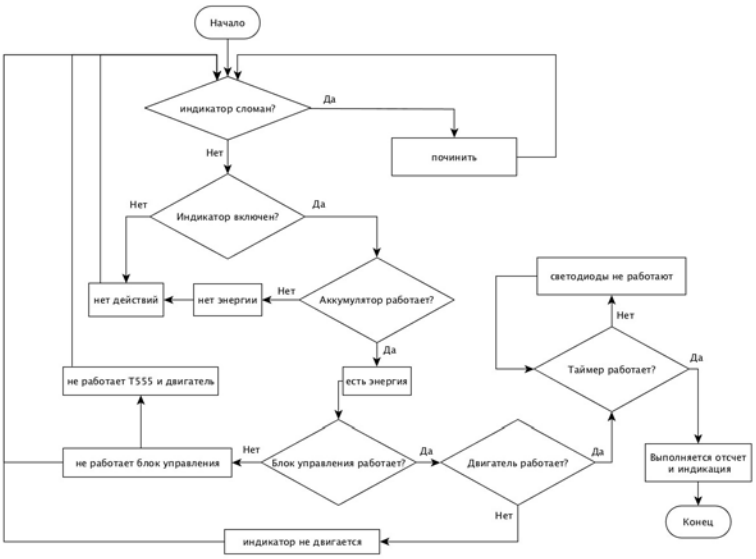


Рис. 6. Алгоритм работы устройства

Алгоритм работы необходим для реализации программного управления системой при помощи микроконтроллера, а также для оформления руководства пользователя, поскольку в нем также отражены последовательности действий проверки работоспособности устройства.

Заключение

Реализованная и описанная в данной работе система полностью отвечает поставленной цели, обозначенной во введении. Разработанный индикатор позволяет привлечь внимание зрителей к такому параметру матча соревнований, как время. Корпус индикатора отличается необычным дизайном и призван привлекать молодых людей к освоению технических областей знания.

Дальнейшую работу над системой планируется вести в направлении изучения рынка потребительских товаров, так или иначе использующих время и доработку ядра системы для использования в наиболее популярных системах и гаджетах.

Литература

1. Международные молодежные соревнования робототехнических команд. Электронный ресурс. Режим доступа: http://eurobot-russia.org – Проверено 10.02.2016.
2. Описание светодиода с программным управлением WS2812B. Электронный ресурс. Режим доступа: https://www.adafruit.com/datasheets/WS2812B.pdf – Проверено 10.02.2016.
3. Параметрическая САПР 2Д/3Д моделирования. Электронный ресурс. Режим доступа: http://solvespace.com/index.pl – Проверено 10.02.2016.
4. Вилкова Е.А. Механизм метания мячей с системой автоматического наведения на цель // Сборник научных трудов. 16-ая молодежная научно-техническая конференция "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2014". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 23-24 апреля 2014 г. – с.101-108.
5. Алексеев Д.А. Телеуправляемый мобильный робот для ряда практических задач // Сборник научных трудов. 17-ая молодежная научно- техническая конференция "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2015". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 22-23 апреля 2015 г. – с.221-229.

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Григорьев П.В.
Научный руководитель: д-р техн. наук Поздняев А.С.
Россия, г. Москва, МГТУ им.Н.Э.Баумана,

TIME INDICATOR USING MOVEMENT AND COLOR GENERATION

Аннотация
Данная статья посвящена анализу и исследованию такого понятия, как «машинное зрение». Основное внимание уделено применению систем машинного зрения в различных областях. Подробно рассмотрены такие вопросы, как: применение машинного зрения в производстве и основные преимущества внедрения данных технологий. Приведен краткий анализ средств реализации технического зрения и методов анализа и обработки изображений. В заключении сделаны выводы по данной статье.
Ключевые слова: Машинное зрение, системы технического зрения, компьютерное зрение, анализ изображений, умные камеры.

Annotation
This article is devoted to the analysis and study of such concepts as " machine vision ". The focus is on the use of machine vision in various fields. It examined in detail issues such as: the use of machine vision in production and the main benefits of the introduction of these technologies. A brief analysis of the means of implementing the vision and methods of analysis and image processing. Finally the conclusions of this article.
Keywords: Machine vision, systems of machine vision, computer vision, image analysis, smart cameras.

Введение

В связи с современной динамикой развития технологий цифрового производства (FAB LAB) [1], все большую актуальность приобретают исследования в области машинного зрения. В поисках наибольшей оптимизации и автоматизации различных процессов и операций на производстве, человек ставит перед компьютерами всё новые и новые задачи.

Одной из них является оснащение компьютеров опцией распознавания объектов [2-8]. Среди первых исследований по данной проблеме можно выделить работу Ф. Розенблатт. В ней учёным описываются простейшие эксперименты по восприятию и различению компьютером предметов с помощью персептрона. Среди работ научных школ МГТУ им. Н.Э.Баумана следует выделить работы Е.В. Бурого [3], Недильченко О. С., Афиногенова Е.И. и др.

Между тем, основной целью всех исследователей данной области является — обучение компьютеров видеть и воспринимать мир и, следовательно, принимать определенные решения и поступать, подобно тому, как это делает человек. Необходимость обучения компьютеров способностью видеть и распознавать объекты объясняется опасностью, которой подвергается человек на производстве. Поскольку человек, как живой организм, нередко физически слабее машины, а также он не способен воспринимать и обрабатывать информацию с той же скоростью, с которой это делают современные компьютеры. Таким образом, разработка и интеграция в производство машин, способных распознавать объекты (обладающих техническим зрением), позволит во многом обезопасить или даже полностью заменить работу человека, на наиболее опасных для здоровья оператора участках производства.

Процесс машинного зрения являет собой сложную технологическую последовательность, состоящую из процесса получения цифрового изображения, его обработки, выделения необходимой информации и анализа данного, предварительно обработанного, изображения для решения определенной задачи [3]. Безусловно, создание универсальной самообучающейся системы было бы идеальным, которая бы могла «развиваться» и «самообучаться» так же, как это происходит с самого рождения у

биологических объектов. Однако наиболее важными проблемами остаются: распознавание изображения, идентификация, оценка положения, восстановление сцены, восстановление изображения, слежение за объектом.

В данной работе произведен анализ и классификация систем технического зрения, рассмотрены основные этапы развития технического зрения, области применения данной технологии, проведен анализ средств реализации.

1 Основные этапы развития систем машинного зрения

Обмен информацией с помощью изображений уходит корнями в глубокую древность, когда, за неимением языка и письменности, люди пользовались наскальной живописью, которая служила им простейшим средством коммуникации [7].

История технологии компьютерного зрения как наукоемкой области знаний зарождается в 50-х годах XX века. Первые системы оцифровки визуальной информации были весьма примитивными, а изображения — малоформатными и малоинформативными. Поэтому основной задачей, которая решалась в то время, было автоматическое распознавание печатных, буквенно-цифровых символов (знаков).

Между тем, к этому же периоду относятся и первые попытки моделирования нейронной деятельности человеческого мозга для решения совершенствования возможностей компьютерного зрения. Одним из самых интересных свойств человеческого мозга является способность отвечать на бесконечное множество состояний внешней среды конечным числом реакций. Вполне возможно, что именно это свойство головного мозга обусловливает способность человека мыслить, то есть воспринимать объективный мир в форме субъективных образов, понятий, суждений и т.д.

Первый успех в области машинного зрения можно смело связать с персептроном (от perception — восприятие), разработанным психологом Корнеллской лаборатории аэронавтики, Фрэнка Розенблаттом. Впервые персептрон был смоделирован на универсальной ЭВМ IBM-740 в 1958 году. Аппаратный вариант персептрона — Mark I Perceptron — был изготовлен в 1960 году и предназначался для распознавания зрительных образов. Его рецепторное поле состояло из 400 точек (матрица 20S20 элементов), и он был способен решать ряд несложных задач, в частности, распознавать печатные буквы. Основные этапы развития машинного зрения представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Этапы развития теории машинного зрения

Дата	**Автор**	**Область исследования**
1955 г.	профессор Массачусетского технологического института (МТИ) Оливер Селфридж	Статья «Глаза и уши для компьютера». Выдвигается идея оснащения компьютера средствами распознавания звука и изображения.
1958 г	психолог Фрэнк Розенблатт из Корнеллского университета	Создана компьютерная реализация персептрона (от perception - восприятие) — устройства, распознающего образы, подобно тому, как это делает человеческий мозг.
1960-е гг		Появление первых программных систем обработки изображений (в основном для удаления помех с фотоснимков, сделанных с самолетов и спутников). Прикладные исследования в области распознавания печатных символов.
1970-е гг.	Лавренсе Робертс, аспирант МТИ	Концепция машинного построения трехмерных образов на основе анализа двумерных изображений объектов.
1979 г.	профессор Ганс-Хельмут Нагель из Гамбургского университета	Заложены основы теории анализа динамических сцен (появилась возможность распознавать движущиеся объекты в видеопотоке).

конец 1980-х годов		Созданы роботы, способные оценивать окружающий мир и самостоятельно выполнять действия в естественной среде.
80-е и 90-е годы		Появление нового поколения датчиков двухмерных цифровых информационных полей различной физической природы. Развитие новых измерительных систем и методов регистрации двухмерных цифровых информационных полей в реальном масштабе времени позволило получать для анализа устойчивые во времени изображения, генерируемые этими датчиками.
середине 90-х	Д. Марром	Модульная парадигма, в которой утверждается, что обработка изображений должна осуществляться на нескольких последовательных уровнях восходящей информационной линии: от «иконического» представления объектов (растровое изображение, неструктурированная информация) – к их символическому представлению (векторные и атрибутивные данные в структурированной форме, реляционные структуры и т. п.). [7]
середине 90-х годов		Первые коммерческие системы автоматической навигации автомобилей.
2003 г.		Выпущены первые достаточно надежные корпоративные системы распознавания лиц.

Активное развитие систем распознавания наблюдается с 50-х годов. Буквально за 60 лет был сделан огромный шаг: от идеи Оливера Селфриджа - оснащения компьютеров средствами анализа изображений, до внедрения корпоративных систем распознавания лиц. Подобные системы нашли широкое применение в различных научных и инженерных областях.

2 Области применения систем машинного зрения

Следует различать, на первый взгляд, схожие понятия – **машинное зрение** и **компьютерное зрение**. Машинное (техническое) зрение – это использование компьютерного зрения в производстве и промышленности [4-8]. Когда компьютерное зрение — это набор методов, позволяющих компьютерам видеть. Областью применения машинного (технического) зрения, как инженерного направления, являются цифровые устройства ввода/вывода и компьютерные сети, предназначенные для непосредственного контроля производственного оборудования и технологического процесса. К такому оборудованию могут относиться, например, роботы-манипуляторы или производственные аппараты для извлечения бракованной продукции.

Машинное (техническое) зрение является подразделом инженерии, связанным с вычислительной техникой, оптикой, машиностроением и промышленной автоматизацией. Одно из наиболее распространенных приложений машинного (технического) зрения — инспекция промышленных товаров, таких как изделия радиоэлектроники [5], полупроводниковые чипы, автомобили, продукты питания, лекарственные препараты и т.п. В полномочия сотрудников, работающих на сборочных линиях, входит осмотр определённого количества продукции и оценка её качества. Сегодня, с целью мониторинга качества выпускаемой продукции, всё чаще используются автоматические системы машинного (технического) зрения, оснащённые цифровыми интеллектуальными камерами и программным обеспечением обработки изображения.

Дальнейшие направления развития систем машинного зрения представлены на рисунке 1.

Рис. 1. Области применения систем технического зрения

Машинное зрение нашло широкое применение в таких областях, как: всевозможные системы безопасности, системы визуального контроля и управления, дефектоскопия, автоматизированный контроль на производстве и т.д.

Остановимся на прикладном применении машинного зрения в промышленности. Здесь информация получается с целью контроля производственного процесса. Примером может служить контроль качества производимого оборудования и конечного продукта, когда на выходе определение дефектов производится автоматизированной системой контроля, основанной на машинном зрение. Данная система может обладать определенным функционалом, который позволяет в зависимости от дефекта, выполнять необходимые действия или же останавливать технологический процесс.

Применение машинного зрения в разных областях значительно снизила нагрузку на операторов и работников производства, что позволяет практически полностью исключить «человеческий фактор» в производственном процессе.

3 Задачи машинного зрения

Получение цифрового изображения с камер, обработка изображения с целью выделения значимой информации и математический анализ полученных данных для осуществления необходимых операций – это не полный перечень основных задач, которые могут быть решены системами машинного зрения.

В целом, машинное зрение позволяет решать множество задач, которые условно можно разделить на четыре группы (рисунок 2).

Широкое применение нашли задачи распознавание/обнаружение. Классическая задача в компьютерном зрении, обработке изображений и машинном зрении — это определить, содержатся ли какие-либо характерные объекты, особенности или активность в видеоданных. Случайные объекты в случайном окружении могут быть легко восприняты и дифференцированы человеком, однако это до сих пор не под силу компьютерному зрению.

Существующие методы, в области технического зрения, подходят лишь для различения системой отдельных объектов, таких как простые геометрические фигуры, человеческие лица, печатные или рукописные символы, автомобили, и только в определенных условиях (например, освещение, фон, положение объекта относительно камеры).

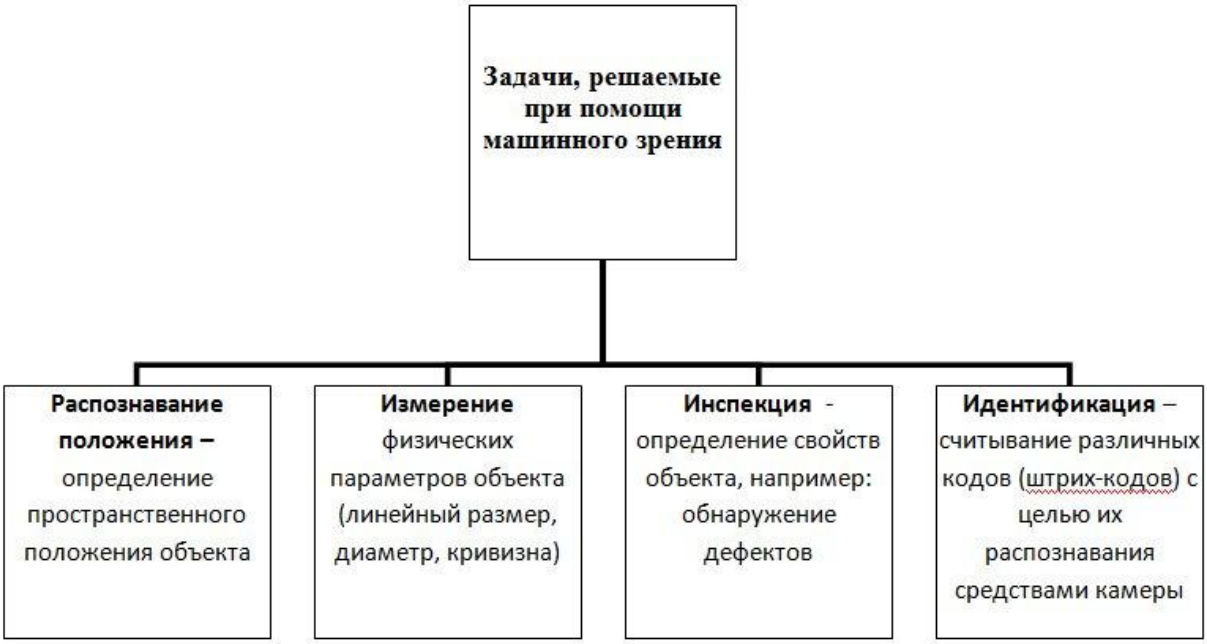


Рис. 2. Перечень задач, решаемых при помощи машинного зрения

Задачи и их описание представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Задачи машинного зрения и их анализ

№	Задачи	Характеристики
1	Распознавание	Один или несколько предварительно заданных или изученных объектов/классов объектов могут быть распознаны, обычно вместе с их двухмерным положением на изображении или трехмерным положением в сцене.
2	Идентификация	Распознается индивидуальный экземпляр объекта, принадлежащего к какому-либо классу.
3	Обнаружение	Видеоданные проверяются на наличие определенного условия. Обнаружение, основанное на относительно простых и быстрых вычислениях, иногда используется для нахождения небольших участков в анализируемом изображении, которые затем анализируются для получения правильной интерпретации с помощью приемов, более требовательных к ресурсам.

4 Анализ средств реализации технического зрения

При анализе стандартного решения, предлагаемого системой машинного зрения, можно выделить несколько её основных компонентов:

- одна или несколько цифровых или аналоговых камер (черно-белые или цветные) с подходящей оптикой для получения изображений;
- программное обеспечение, изготавливающее изображения для обработки. Для аналоговых камер это — оцифровщик изображений;
- процессор (современный ПК с многоядерным процессором или встроенный процессор, например — ЦСП);
- программное обеспечение машинного зрения, предоставляющее инструменты для разработки отдельных приложений программного обеспечения;
- оборудование ввода-вывода или каналы связи для доклада о полученных результатах;

- умная камера: устройство, которое включает в себя все выше перечисленные компоненты;
- специализированные источники света (светодиоды, люминесцентные или галогенные лампы и т. д.);
- специфичные приложения программного обеспечения для обработки изображений и обнаружения соответствующих свойств;
- датчик для синхронизации частей обнаружения (часто оптический или магнитный датчик) для захвата и обработки изображений;
- приводы определенной формы используемые для сортировки или отбрасывания бракованных деталей.

5 Методы обработки изображения

Обработка изображений — любая форма обработки информации, для которой входные данные представлены изображением, например, фотографиями или видеокадрами. Обработка изображений может осуществляться как для получения изображения на выходе, так и для получения другой информации (например, распознание текста, подсчёт числа и типа клеток в поле микроскопа и т. д.). Также помимо обработки статичных двухмерных изображений, порой бывает необходимо обрабатывать изображения, изменяющиеся со временем, например, потоковое видео.

Коммерческие пакеты программ для машинного (технического) зрения и пакеты программ с открытым исходным кодом обычно включают в себя ряд методов обработки изображений, представленных в таблице 3.

Таблица 3 – Методы обработки изображений

№	Методы обработки	Описание
1	Счетчик пикселей	Подсчитывает количество светлых или темных пикселей.
2	Бинаризация	Преобразует изображение в серых тонах в бинарное (белые и черные пиксели).
3	Сегментация	Используется для поиска и/или подсчета деталей
4	Поиск и анализ блобов	Проверка изображения на отдельные блобы связанных пикселей (например, черной дыры на сером объекте) в виде опорных точек изображения. Эти блобы часто представляют цели для обработки, захвата или производственного брака.

Современные системы машинного зрения используют комбинированные анализаторы изображение, которые позволяют в большей вероятностью определять объекты на полученных снимка, если брать обработку статических двумерных изображений.

Если брать обработку видео, то там применяется другой подход. Некоторые системы выполняют покадровую обработку, но данный способ обработки видео уходит на второй план, поскольку появились новые – более быстрые методы работы с видео потоком и его обработкой.

Заключение

В данной работе был выполнен обзор основных этапов развития машинного зрения. Поскольку, в поисках наибольшей оптимизации и автоматизации различных процессов и операций на производстве, человек ставит перед компьютерами всё новые и новые задачи, то внедрение систем анализа изображений был вопрос времени.

Были рассмотрены области применения машинного зрения. Акцент сделан на внедрение автоматизированных систем распознавания объектов в промышленное

производство, где данные системы позволят заменить операторов и исключить такое понятие, как «человеческий фактор».

К сожалению, системы технического зрения в настоящее время не могут полностью заменить работу оператора на всех этапах производства. Но в некоторых ситуациях они выполняют поставленные задачи намного быстрее и качественнее, поэтому, их применение необходимо только в тех случаях и на тех местах, где от оператора требуется пребывание в постоянном напряжение, высокая концентрация и постоянный зрительный контроль (линии контроля).

При реализации технического зрения и построения систем распознавания, работающих с цифровым изображением или видеопотоком, необходимо глубокое понимание принципов работы системы в целом и компонентов технического зрения в отдельности, принципы работы программ обработки изображения и знание области, в которой будет применяться техническое зрение. Все это позволит не только получить качественные результаты, но и практически полностью исключить возникновение ошибок.

Несмотря на перечисленные преимущества технического зрения, сложность внедрения и настройки систем обработки изображения – являются теми факторами, которые нельзя опустить. Поэтому в основном системы технического зрения используются при решении конкретных задач, и рано говорить об их универсальности применения в различных областях.

Литература

1. Арабов Д.И., Власов А.И., Гриднев В.Н., Зотьева Д.Е., Маркелов В.В. FAB-LAB-ТЕХНОЛОГИИ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ // В сборнике: Современные научные исследования: методология, теория, практика материалы II Международной научно-практической конференции. Центр содействия развитию научных исследований. Нижний Новгород, 2014. С. 162-179.
2. Афиногенов Е. И. Метод автоматизированного формирования цифровой модели рельефа // Наука и образование. №12, 2013.
3. Балухто А.Н., Булаев В.И., Бурый Е.В. и др. НЕЙРОКОМПЬЮТЕРЫ В СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ - Москва, Издательство "Радиотехника". 2003. 192 с. Сер. Библиотека журнала "Нейрокомпьютеры: разработка, применение". Книга 7.
4. Буянов А.И., Власов А.И., Загоскин А.В. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ ПРИ ДЕФЕКТОСКОПИИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2002. № 3. С. 42-70.
5. Власов А.И., Гриднев В.Н., Константинов П., Юдин А.В. НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МЕТОДЫ ДЕФЕКТОСКОПИИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ // Электронные компоненты. 2004. № 8. С. 148-155.
6. Демин А.А., Власов А.И., Шахнов В.А. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ВИЗУАЛЬНЫХ УПРАЖНЕНИЙ ДЛЯ АДАПТИВНОЙ КОРРЕКЦИИ ТОНКОЙ МОТОРИКИ КИСТЕЙ РУК В УСЛОВИЯХ НЕВЕСОМОСТИ // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Приборостроение. 2015. № 3 (102). С. 23-38.
7. Недильченко О. С. Распознавание номерных знаков транспортных средств с помощью библиотеки компьютерного зрения OpenCV // Молодежный научно-технический вестник. №2, 2015.
8. Шахнов В.А., Власов А.И., Поляков Ю.А. и др. НЕЙРОКОМПЬЮТЕРЫ: АРХИТЕКТУРА И СХЕМОТЕХНИКА - Москва, 2000. Сер. Приложение к журналу "Информационные технологии". №9. 64 с.

Работа выполнена при частичной поддержке
проектной части Государственного задания № 26.713.2014/К

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЕ- И ПОСТПРОЦЕССОРА ДЛЯ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Качалова А.М.
Научный руководитель: старший преподаватель Курносенко А.Е.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

DESIGN OF PREPROCESSING AND POSTPROCESSING PROGRAM FOR ENGINEER ANALYSES OF PCB

Kachalova A.M.
Supervisor: senior lecturer Kurnosenko A.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье рассматриваются вопросы разработки пре- и постпроцессора для инженерного анализа электронных модулей первого уровня на механические и тепловые воздействия с помощью FEMAP API. Исследован вопрос интеграции различных САПР систем. Представлена схема интеграции между системами и процессором. Рассмотрена функциональная структура системы.

Annotation
This article is devoted to the problems of development of application for thermal and mechanical analyses of circuit boards using FEMAP API. The question of ECAD and CAE systems integration is presented. The schema of integration between processor and external systems is designed. Functional design of system is shown.

Введение

Работа посвящена разработке пре- и постпроцессора для интеграции ECAD и CAE систем в области инженерного анализа электронных модулей первого уровня на тепловые и механические воздействия.

В настоящее время наблюдается тенденция, что CAD/CAM/CAE-системы различных компаний используют структуры разных типов для обработки данных и хранения результатов. Таким образом, для передачи информации из одной системы в другую в процессе проектирования необходимо преобразовывать данные одной системы в формат другой системы, как в прямом направлении, так и в противоположном. Если для систем также требуется предварительная обработка данных, метод прямого конвертирования становится непрактичен, так как требует разработки слишком большого количества конверторов и обработки большого количества информации при необходимости работать с множеством систем. Обмен данными можно обеспечить, введя нейтральную структуру базы данных, называемую нейтральным файлом, и систему пре- и постобработки данных, которая будет анализировать данную структуру, и подготавливать информацию к передаче в другую систему. Данная система будет действовать как промежуточная точка коммуникации между различными структурами баз данных САПР.

В рамках проектирования электронных модулей система пре- и постобработки данных актуальна для обмена информацией между ECAD, MCAD и CAE системами. Типовой процесс обмена данными между этими САПР приведен в [1-4]. После разработки конструкции платы, выполнения топологии проводящего рисунка, размещения компонентов, проведения необходимых расчетов и завершения остальных работ по проектированию сборки готовый вариант изделия передается в CAE-систему для проведения инженерных анализов и расчетов – в частности, на механические (определение собственных частот, напряжений, деформаций, откликов на вибрации и удары) и тепловые воздействия (определение тепловых режимов, поиск наиболее теплонагруженных компонентов, учет теплопередачи конвекцией/кондукцией/излучением, расчет радиаторов и пр.).

Результаты инженерного анализа следует должны быть учтены в смежных этапах сквозного цикла проектирования электронного модуля.

Цель работы – спроектировать пре- и постпроцессор для инженерного анализа электронных модулей, позволяющий обработать данные ECAD, подготовить данные к передаче в CAE, проанализировать полученные результаты инженерного анализа, и провести быструю оптимизацию конструкции.

1 Функциональная структура системы пре- и постпроцессора

Условно по функциональности систему можно разделить на три части: начальная обработка (препроцессор), решатель, обработка результатов (постпроцессор). Пре- и постпроцессор, описанный в следующей статье, представляет собой обработчик данных системы проектирования и системы инженерного анализа электронных модулей.

Первая часть отвечает за корректное получение данных от ECAD системы (Altium Designer и др.) в формате step и построение 3D модели с использованием функций системы инженерного анализа (Femap), основанного на решателе NX Nastran. Результатом препроцессорной части является 3D модель электронного модуля, построенная на основе разведенной платы.

Вторая часть решает задачи изменения конструкции сборки на основе данных, введенных пользователем. Данные включают в себя настройку механических, температурных параметров модуля, параметров анализа, приведенных в разделе 4 ниже. Также происходит обмен данными между процессором и CAE через формат OLE/COM. Программы, созданные с использованием COM, предоставляет свои сервисы через один или несколько COM-объектов. Каждый такой объект является экземпляром некоторого класса и поддерживает определенное количество интерфейсов, обычно не менее двух. В состав каждого интерфейса входит один или более методов — функций, которые могут вызываться клиентом объекта.

Третья часть представляет собой обработку результатов инженерного анализа, пришедших из CAE. Постпроцессор выводит на экран результаты проведенных анализов и предоставляет пользователю возможность сохранения модели в интеграционном формате Step, данных анализа в формате Word, Excel или формате Femap. Обратная связь для выполнения изменения конструкции сборки обеспечивается через первую часть (препроцессор).

Все части являются единой системой, основанной на требованиях, предъявляемых к разработке электронных модулей первого уровня.

2 Интеграционная структура системы пре- и постпроцессора

С использованием пре- и постпроцессора для интеграции между ECAD и CAE в области электронных модулей процесс проектирования разбивается на один подготовительный этап и два основных этапа. Блок-схема интеграции представлена на рис.1.

Подготовительный этап заключается в том, что инженер разрабатывает электрическую схему и проводит ее трассировку в ECAD приложении, после чего происходит сохранение результатов проектирования в интеграционном формате step.

На втором этапе файл может быть загружен в препроцессор для проведения подготовки инженерного анализа. Препроцессор предоставляет возможность быстрого изменения механических параметров платы, включая размеры платы, конфигурирование тепловых параметров, свойств материалов и т.д. Среди задач, которые инженеру позволяет решать процессор на втором этапе, можно выделить создание модели изделия, создание сеточной модели, контроль качества сеточной модели и ее модификацию, определение данных и ограничений.

На третьем этапе препроцессор взаимодействует с CAE приложением через OLE/COM API, позволяющий использовать функции и методы открытой библиотеки CAE. Препроцессор использует только функции, необходимые для отражения изменений на 3D модели и для получения визуальных и текстовых данных о проведенных тепловом, механическом и вибрационном анализах. Решатель Femap на основе NX Nastran производит инженерный анализ.

Пост-обработка данных, полученных из CAE, заключается в выгрузке обработанной 3D модели в step формате, который может быть далее передан в ECAD систему для повторного цикла проектирования. В задачи постпроцессора входит выбор наиболее важных параметров системы и их сохранение в виде .xls, .doc или в виде результатов анализа CAE.

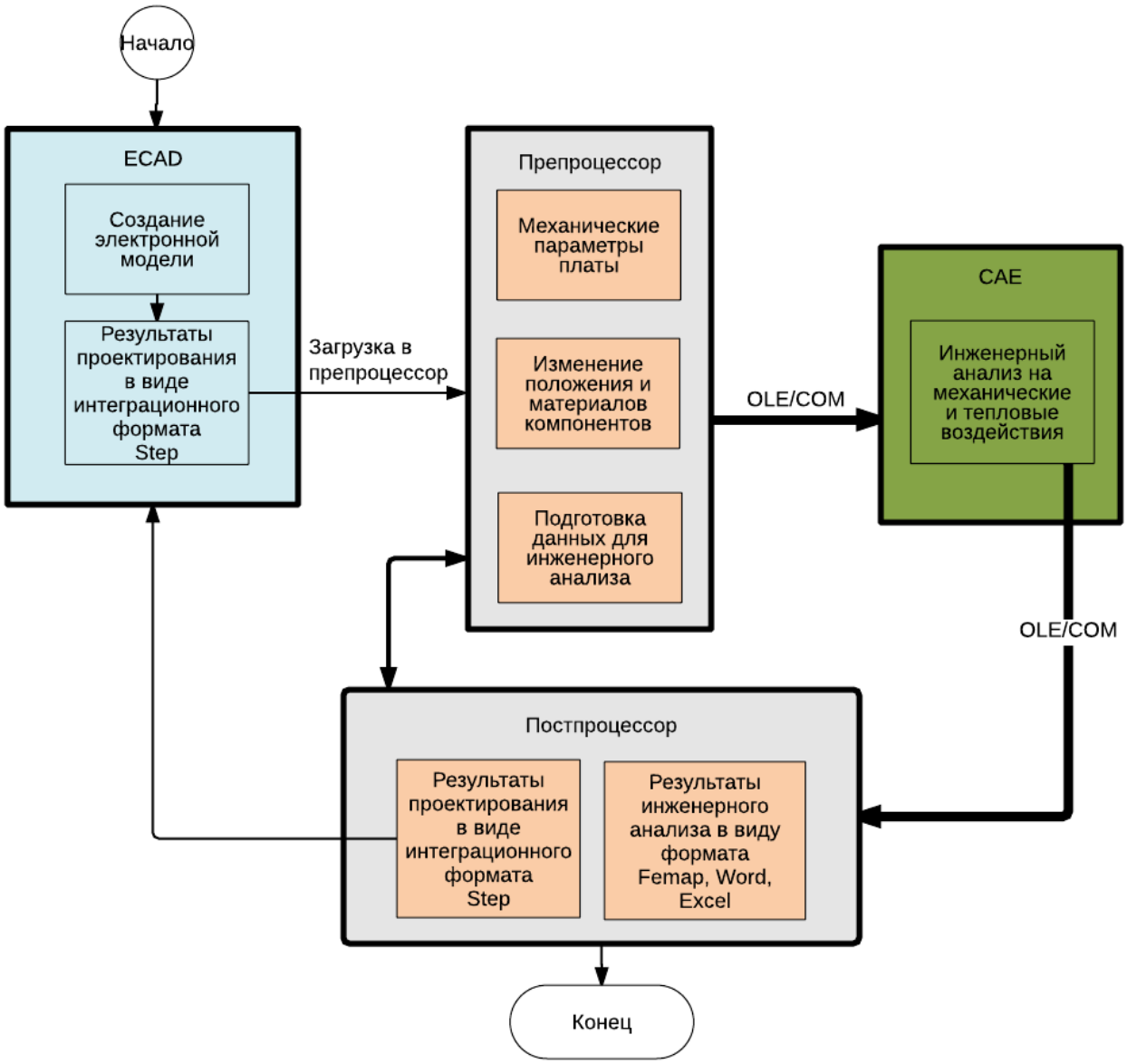


Рис. 1. Блок-схема интеграции

Уникальность данной технологии заключается в том, что отпадает необходимость в совершении большого ряда действий и вычислений для работы в CAE. В данном примере выделяется функциональность CAE, необходимая конкретно для проведения инженерного анализа электронных модулей: построение сетки, наложение ограничений и анализ.

3 Обработка данных для инженерного анализа

В задачи системы пре- и постобработки входит подготовка данных к передаче в CAE через OLE/COM стандарт. Информация, передающаяся в анализатор должна быть полной и достаточной для достоверных результатов. В зависимости от типа выбранного анализа система подготавливает следующий набор параметров:

1) Механические параметры электронного модуля первого уровня.

Механическими параметрами являются габаритные размеры, такие как длина, ширина и толщина платы, параметры размещения электронных компонентов.

2) Свойства материалов.

Свойства материалов компонентов вводятся пользователем по справочным данным.

3) Анализ теплового поля:

- значение температуры окружающей среды;
- рассеиваемая компонентами мощность;
- граничные условия;
- коэффициент конвективного теплообмена.

Рассеиваемая компонентами мощность и значение теплового потока вводятся пользователем по справочным источникам компонентов.

4) Вибрационный анализ.

Способ закрепления платы – продольным торцам, по поперечным торцам, в четырех точках и т.д. выбирается пользователем в зависимости от технических требований.

5) Параметры сетки.

Чем больше параметр разбиения на конечные элементы, тем точнее получается анализ, но затрачивается больше ресурсов. Пользователь может провести оценку качества сеточной модели и модифицировать ее путем изменения параметра разбиения.

После получения и обработки данных процессор по команде от пользователя вызывает функции Femap API для передачи данных.

Заключение

В ходе проведенной работы был спроектирован пре- и постпроцессор для проведения инженерных анализов в области проектирования электронных модулей первого уровня. Разработанный функционал ляжет в основу разработки программного приложения на основе COM модели в среде C++.

Литература

1. Роджерсон Д. Основы COM. – М: Русская Редакция, 2000. – 400 с.
2. Шинкович Д. Femap Nastran. Инженерный анализ методом конечных элементов. – М: ДМК Пресс, 2008. – 702 с.
3. Рычков С. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran. – М: ДМК Пресс, 2012. – 784 с.
4. Курносенко А.Е., Соловьев В.А., Арабов Д.И. Программные модули для организации совместного проектирования электронной и механической составляющих изделия в САПР Solid Edge/NX // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2014. № 3 (155) – С. 85-89.
5. Шахнов В.А. и др. Основы конструирования в Solid Edge. Пособие по проектированию изделий в приборостроении. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 272 с.: ил.

УСТРОЙСТВО АВТОФОКУСИРОВКИ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ СТАНКА ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ

Кириленко В.Д.
Научный руководитель: Юдин А.В.
ГБПОУ «Воробьёвы горы», Центр Технического Образования, Москва, Россия.
НИТУ МИСиС, Учебно-производственный центр “ARTCAD”, Москва, Россия.

LASER BEAM AUTOFOCUSING DEVICE FOR MODIFICATION OF LASER CUTTER MACHINE

Kirilenko V.D.
Supervisor: Yudin A.V.
State budget vocational and educational institution "Vorobyovi Gori", Centre of Technical Education, Moscow, Russia.
NUST MISiS, Training and production center “ARTCAD”, Moscow, Russia.

Аннотация
В статье рассматриваются режущие свойства лазера. Подробно исследована возможность динамического изменения фокусировки лазера во время работы. Кратко представлен процесс изучения фокуса лазера. В заключении представлены рекомендации по использованию дальномеров.

Abstract
The article deals with the properties of laser cutting. studied in detail the ability to dynamically change the focus of the laser during operation. Briefly presented the process of setting the laser focus. In conclusion, recommendations on the use of range finders.

Введение

При работе на лазерном резаке часто возникает проблема перенастройки фокуса лазера после смены материала. Особых усилий это не требует, но автоматическая настройка прямо во время роботы сильно сократит общее время на вырезание детали. Эта возможность становится особенно актуальна в условиях работы в общедоступной или учебной лаборатории, где количество пользователей станка, т. е. одновременно исполняемых проектов велико.

Сейчас задача настройки фокуса решается двумя основными способами:
- с помощью специально вырезанного уголка, задающего фокусное расстояние лазера;
- при помощи посторонних съемных приборов, механическим контактом определяющих фокусное расстояние до поверхности материала.

Предложено решение, при котором настройка будет происходить автоматически, быстро и незаметно для пользователя во время работы станка лазерной резки, что позволит упростить процедуру настройки станка, а также вырезать за один раз несколько деталей из разных материалов.

Цель данного проекта состоит в создании устройства, использующего лазерное излучение для разрезания материалов, таких как бумага, поролон, а при использовании штатных мощных лазеров для станков лазерной резки и прочих материалов, используя при этом самодельную (DIY) электронику. Отличительной особенностью данной разработки является возможность динамического изменения фокусировки лазерного излучения и программного управления ею.

Применение разработка может найти как в лабораториях цифрового производства в качестве удобного рабочего инструмента, автоматически выставляющего фокусировку лазера точно под материал, так и в учебном классе, как установка для изучения принципов лазерной резки и систем управления узлами станка.

Для изготовления устройства использовались станки современной лаборатории цифрового производства[1]: 3Д-принтер, станок лазерной резки и прецизионный фрезерный станок.

1 Общее описание системы, принципов работы и используемых технологий

Во всех лазерных резаках установлен лазер без регулируемой фокусировки (вместо этого за счет подвижного стола изменяется расстояние до плоскости резания в зависимости от толщины материала). В рамках проекта автор предлагает использовать лазер с изменяемым фокусным расстоянием. В работе представлены результаты исследования лазерного излучателя (рис.1).

В программной части проекта автор использует язык программирования C++. Он широко используется для разработки программного обеспечения, являясь одним из самых популярных языков программирования. Область его применения включает создание операционных систем, разнообразных прикладных программ, драйверов устройств, приложений для встраиваемых систем, высокопроизводительных серверов, а также развлекательных приложений (игр). Использование компилятора AVR-GCC позволяет программировать встраиваемую электронику на базе платы Arduino.

В представляемом устройстве используется контроллер ATmega32U4, поскольку он компактный, легко доступен, легко подключается и прошивается на компьютере и хорошо работает с периферийными устройствами, необходимыми для работы устройства автофокусировки: ультразвуковой (УЗ) дальномер, серво-мотор.

Контроллер рассчитывает расстояние до предмета с помощью УЗ дальномера HC-SR04 и подает сигнал управления на поворот фокусирующей линзы с помощью серво-машинки.

Плоские чертежи для изготовления деталей устройства были разработаны в САПР Solvespace [2]. Непосредственно для резки чертежи преобразовывались в формат, нужный для конкретного станка лазерной резки.

3D-моделирование лазера произведено в САПР SolidWorks. В качестве объекта моделирования был выбран лазер мощностью в 5W и регулируемой фокусировкой (таб. 1). На рис. 1 представлена модель лазера и реальный прототип модели.

Таблица 1 – характеристики лазерного излучателя

№	Параметр	Значение
1	Модель	B017
2	Материал корпуса	Алюминий
3	Питание	Пост. напряжение, 3.7В x 2, аккумуляторная батарея
4	Время беспрерывной работы	~ 1 ч.
5	Мощность излучателя	~ 5Вт
6	Диапазон фокусировки	1 – 500 см
7	Длина волны излучателя	445-450 нм
8	Начало работы с момента старта системы	≤ 3 с.
9	Габаритные размеры	38 x 38 x 135 мм

[1] Автор благодарит лаборатории Центра Технического Образования ГБПОУ “Воробьевы горы” и Учебно-производственного центра “ARTCAD” НИТУ МИСиС за возможность работы на современном оборудовании при работе над проектом!

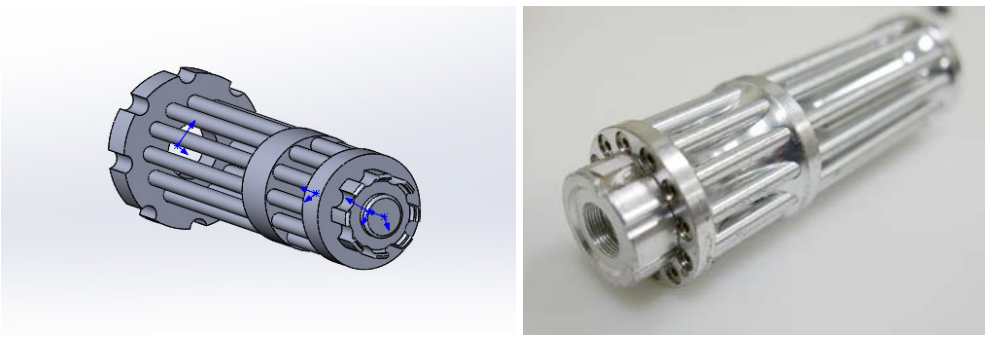


Рис. 1. 3Д-модель корпуса лазерного излучателя и реальный прототип модели

2 Исследовательская часть

Заявленный в документации на лазерный излучатель диапазон фокусировки в условиях стандартного применения для лазерной резки является избыточным. Автор проводил замеры необходимого вращения колеса фокусировки линзы лазерного излучателя в пределах от 5 до 16 см над поверхностью резания. Для фокусировки лазерного луча в этих пределах потребовалось лишь незначительно повернуть колесо фокусировки (см. рис. 2).

Рис. 2. Измерение угла поворота линзы при фокусировании

Измерения проводились при включенном лазере на материале типа бумага (рис. 3). Хорошо сфокусированный пучок лазерного излучения давал четкую, не размытую картинку рисунка.

Рис. 3. Проведение измерения фокусного расстояния в рабочем режиме резания

3 Описание разработанного устройства и управляющей подсистемы

Для целей реализации описываемого проекта была разработана структура устройства автофокусировки пучка лазерного излучения, которая представлена на рис. 4. В верхней части рисунка представлен вид 2х координатного стола типичного станка лазерной резки. Разрабатываемое устройство (3) приводится в движение шаговыми двигателями 1 и 2. Обрабатываемый материал располагается на столе 4. Один из наиболее простых и доступных примеров 2х координатного стола приведен на рис. 8.

В нижней части рис. 4 располагается схема самого устройства фокусировки с указанием положений всех необходимых в работе узлов.

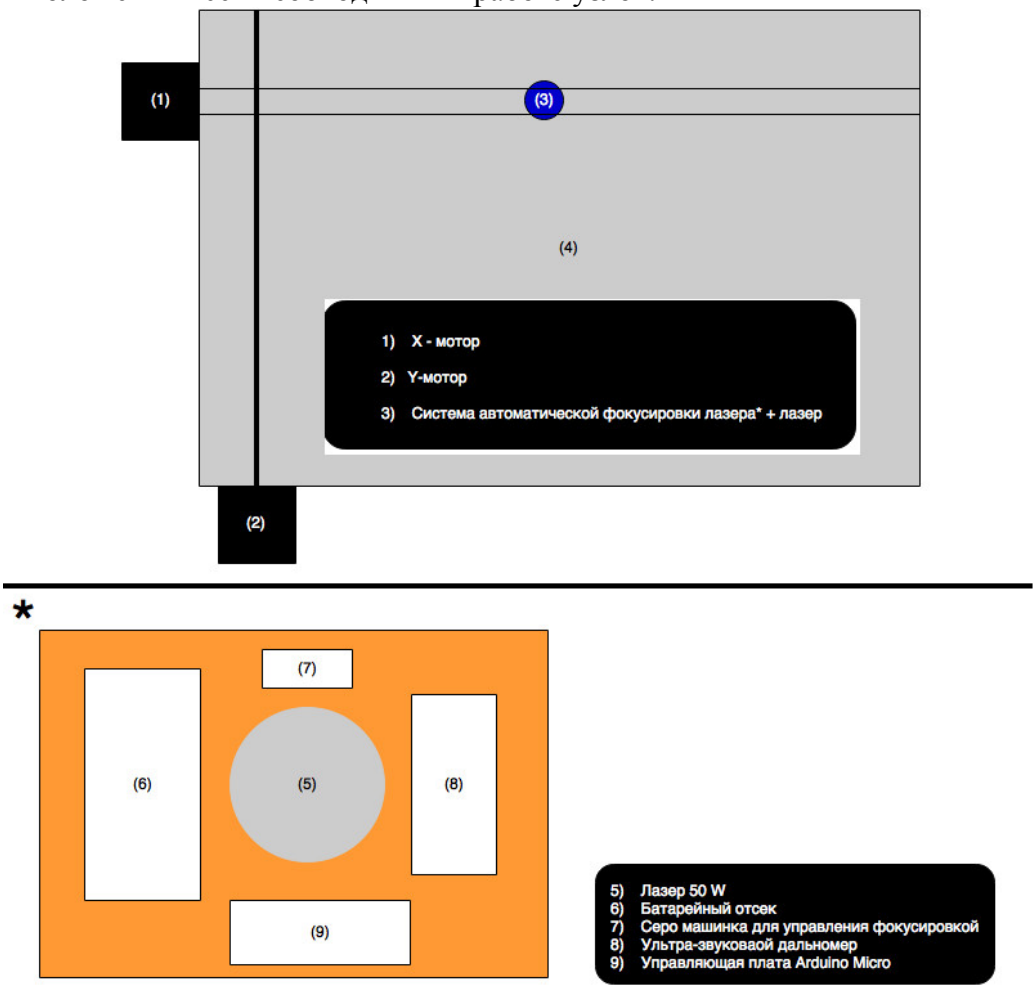


Рис. 4. Структурная схема устройства управления автофокусировкой лазерного луча

Изготовленный и собранный вариант исполнения разрабатываемого устройства автофокусировки представлен на рис.5.

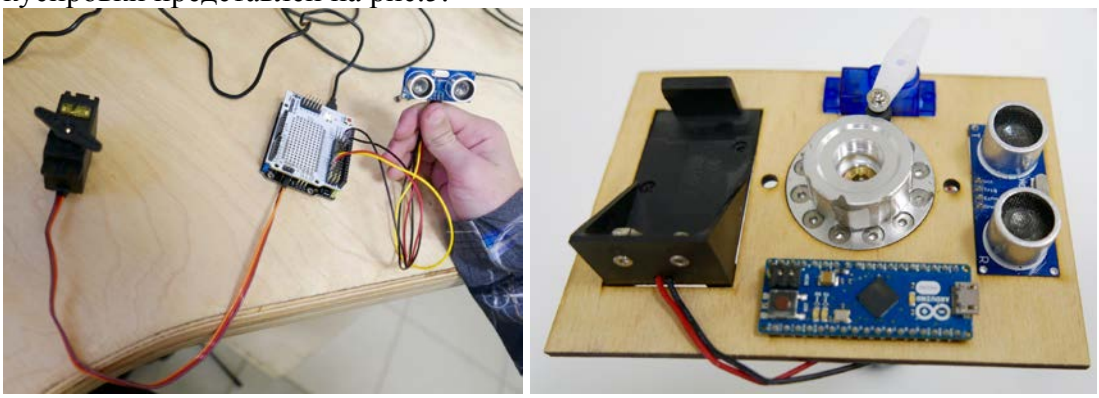


Рис. 5. Система автофокусировки лазерного луча и ее составляющие

Для осуществления контроля над сервоприводом и ультразвуковым дальномером необходима управляющая система. В ее функции входит контроль угла на основе показаний с дальномера. Система представляет собой плату Arduino Micro, подключенную к блоку питания. Данная система программируется при помощи программного обеспечения Arduino IDE [3]. Машина состояний системы автофокусировки представлена на рис. 6, а алгоритм действий на рис. 7.

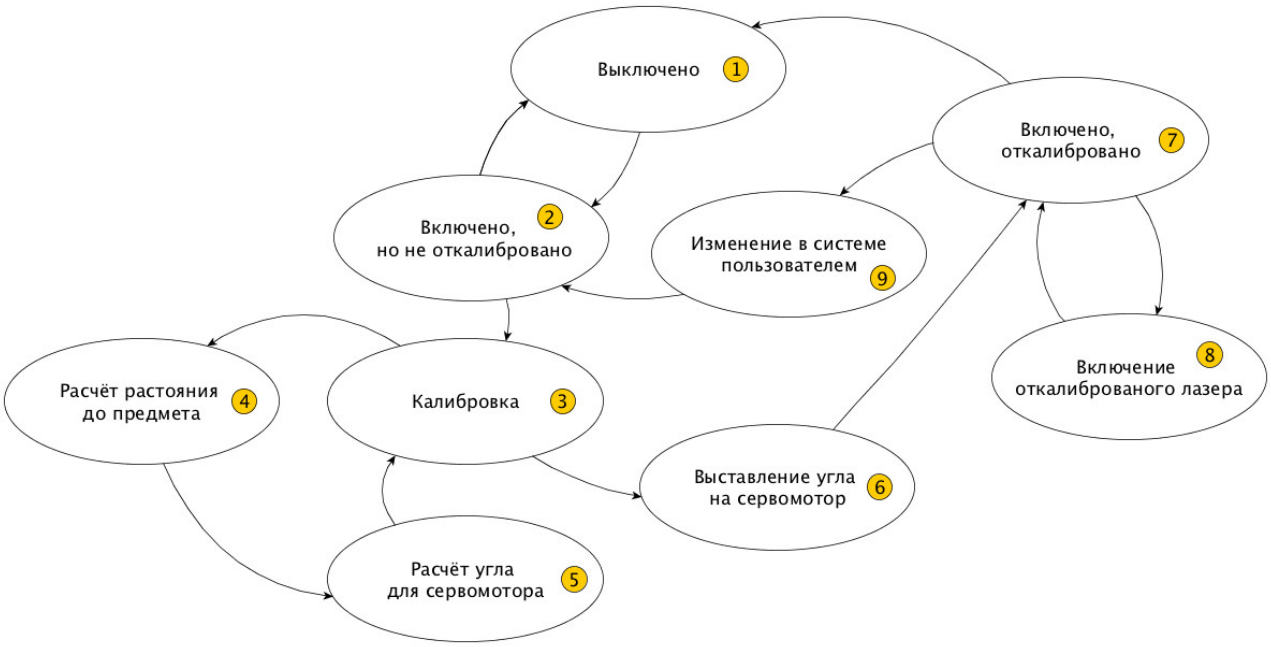


Рис. 6. Машина состояний устройства автофокусировки

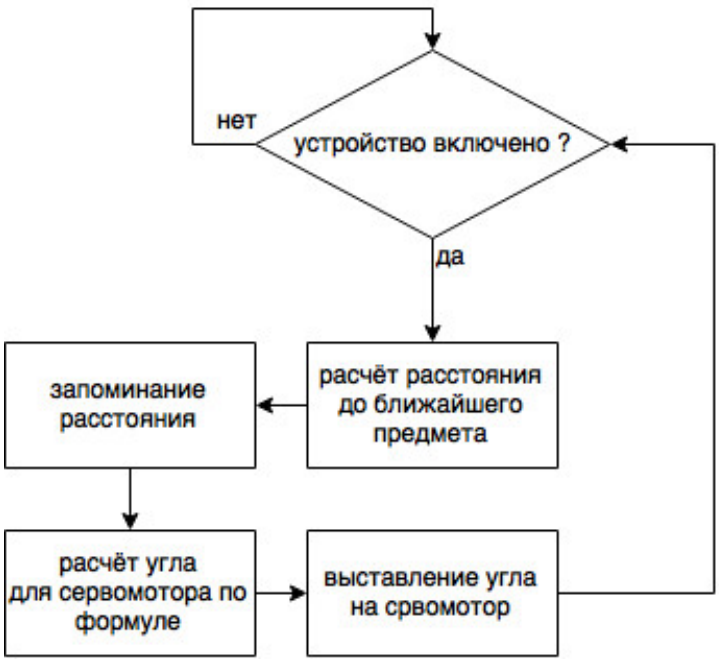


Рис. 7. Алгоритм работы устройства автофокусировки

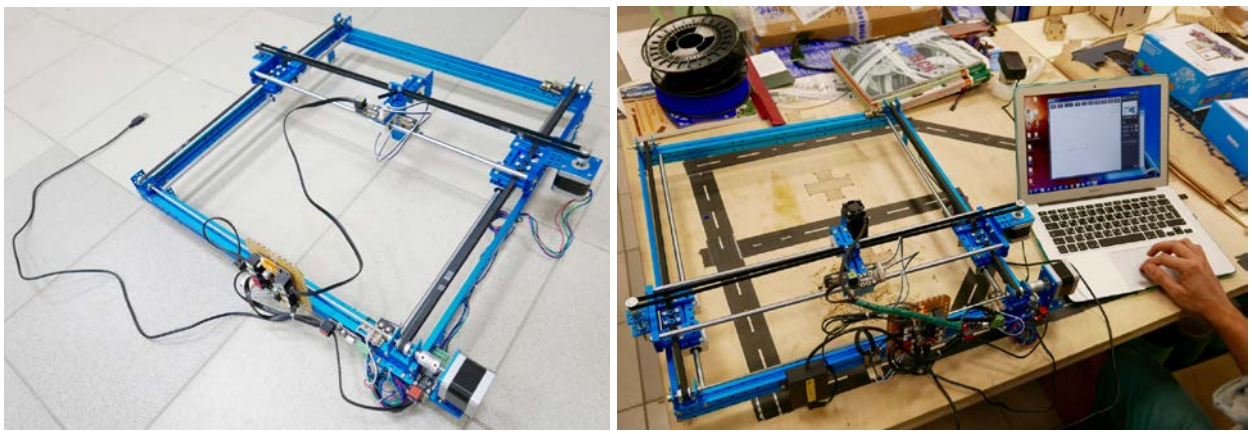


Рис. 8. Система управления положением лазерного излучателя (2х координатный стол)

Заключение

Во время работы было выявлено преимущество использования в проекте ультразвукового дальномера (HC-SR04) перед инфракрасным дальномером. Оно заключается в его универсальности, возможности работы при любой освещенности, а также «игнорирование» пыли, образуемой при резки дерева. Тем не менее точность покупного дешевого дальномера, использованного в данном проекте, не позволяет напрямую получить точность достаточную для эффективного решения поставленной задачи.

Определенной сложностью в работе оказалось частое несоответствие заявленных параметров покупных устройств реальным результатам, полученным в работе. Тем не менее, результаты проведенной работы показывают работоспособность идеи и ее реализуемость на практике.

Разработка системы вычисления фокуса для лазерного станка с использованием ультразвукового дальномера имеет большой потенциал внедрения во множестве лабораторий цифрового производства. Автор планирует продолжить работу и исследования наиболее эффективного способа бесконтактной фокусировки лазерного луча в станке лазерной резки.

Литература

1. Бачинин А., Панкратов П., Накоряков В. Основы программирования микроконтроллеров — М: Наука, 2013. — 81 с.
2. Параметрическая САПР 2Д/3Д моделирования. Электронный ресурс. Режим доступа: http://solvespace.com/index.pl – Проверено 10.02.2016.
3. Платформа прототипирования и разработки электронных утсройств Arduino. Электронный ресурс. Режим доступа: https://www.arduino.cc– Проверено 10.02.2016.
4. Григорьев П.В., Егоркин К.С., Кириллов А.В., Костюченко С.В., Лобанов В.С. Мехатронный модуль с органом технического зрения // Сборник научных трудов. 14-ая молодежная научно-техническая конференция "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2012". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 25-26 апреля 2012 г. – С.202-208.
5. Пашинский И.О., Юдин А.В. Интеллектуальная система управления электроприводом в задачах навигации мобильного робота // Сборник научных трудов. 13-ая молодежная научно-техническая конференция "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2011". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 27-28 апреля 2011 г. – С.258-262.
6. Чистяков М.Г., Юдин А.В. Расчет траектории движения мобильного робота в частной задаче перемещения объектов // Сборник научных трудов. 13-ая молодежная научно-техническая конференция "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2011". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 27-28 апреля 2011 г. – С.311-314.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ШАБЛОНЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СБИС

Королев Д.С.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Макарчук В.В.
Россия, Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра «ИУ-4»
Руководитель группы разработки: к.т.н. Гладких А.А.,
Россия, Москва, ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН

AUTOMATION OF THE PHOTOMASKS CONTROL INFORMATION FORMATION PROCESS FOR VLSI FABRICATION

Korolev D.S.
The supervisor of studies: cand.tech.sci., reader Makarchuk V.V.
Russia, Moscow, MSTU named after N.E. Bauman, faculty IU4
Head of group of design: cand.tech.sci. Gladkikh A.A.
Russia, Moscow, SRISA RAS

Аннотация
Рассмотрены существующие методы формирования контрольной информации на шаблоны. Исходя из выявленных недостатков было разработано программное обеспечение, интегрированное с системой автоматизированного проектирования «Calibre» фирмы «Mentor Graphics», кроме это предложена методика использования разработанного программного обеспечения.

Abstract
Existing photomasks order formation methods for integrated circuits manufacturing were considered, Problems of existing methods revealed and suggested the new technique, more accurate and less time-consuming. New software has been developed. The Software is integrated with computer aided design system “Calibre” designed by “Mentor Graphics”.

Введение

Центральное место в технологии изготовления изделий микроэлектроники занимает литография: во-первых, на нее приходится более половины производственных затрат; во-вторых, она в большей степени определяет возможность получения того или иного полупроводникового прибора, особенно, когда требуется получение элементов СБИС с топологическими размерам меньше длины волны экспонирующего излучения.

Технологической оснасткой, с помощью которой происходит формирование топологического рисунка на кремниевой пластине, являются шаблоны (ФШ). ФШ представляет собой изделие из оптически прозрачного материала, чаще всего кварцевого стекла, с нанесенным на его поверхность слоем, образующим участки, непрозрачные для оптического излучения. В качестве материала маскирующего (непрозрачного) слоя зачастую используется: хром или его оксид, серебряная эмульсия, обработанный ионами резист, оксид железа, германий и другие [12].

В современном полупроводниковом производстве, использующим проекционную литографию, часто используются ФШ с изображением нескольких маскирующих слоев на одном стекле. Такие ФШ состоят из отдельных слоев рисунка топологии, размещенных на рабочем поле ФШ, каждое изображение включает в себя 2 основные части: ядро кристалла, располагающееся в центре, и рамку, находящуюся на периферии. При проектировании ФШ важно правильно его скомпоновать, т.е. получить как можно меньше шаблонов, но при этом на одном ФШ располагать слои одной тональности с близкими значениями контролируемых (критических) размеров элементов топологии, при этом не выходя за максимально допустимые размеры поля экспонирования и соблюдая требование минимального расстояния между изображениями слоев.

Поскольку, как уже было сказано, литография является наиболее критическим процессом, требуется жесткий контроль значительного ряда параметров, например: критический размер элемента, допуск на критический размер, координаты всех элементов, служащих для определения критического размера, рассовмещение и т.д. Формирование контрольной информации – процесс достаточно трудоемкий и очень чувствительный к возможным ошибкам, вследствие чего результат становится сильно зависим от человеческого фактора, что неприемлемо при производстве СБИС. Поэтому можно сделать вывод, что степень автоматизации этого процесса должна быть настолько большой, насколько это возможно. По опыту работы в НИИСИ РАН используются 2 метода при формировании контрольной информации:

1. неавтоматизированный;
2. полуавтоматизированный.

Неавтоматизированный метод – метод, в котором все контролируемые параметры топологии задаются оператором. Данный метод характеризуется высокой трудоемкостью, а также наличием человеческого фактора, приводящего к ошибкам. Среднее время, затрачиваемое на формирование контрольной информации, составляет около 24 часов [11].

Полуавтоматизированный метод – метод, основанный на методике, в которой лишь самая трудоемкая часть выполняется с помощью компьютерной программы[10], в частности, программа позволяет определять координаты элементов с критическими размерами. Преимуществом данной методики является наличие автоматизации, поскольку не расходуется время на определение координат элементов с критическими размерами. К недостаткам можно отнести то, что методика нацелена лишь на конкретные типы топологического рисунка, а для применения к другим топологиям требуются существенные доработки в исходном коде программы. Среднее время, затрачиваемое на формирование контрольной информации, составляет около 8 часов [11].

Анализ существующих методов привел к необходимости постановки задачи автоматизации процесса формирования контрольной информации на шаблоны для производства СБИС. Результат работы должен быть представлен в наиболее удобной для конечного пользователя форме.

Описание разработанной методики

Для решения этой задачи была разработана методика автоматизации процесса формирования контрольной информации на шаблоны для производства СБИС, состоящая из следующих этапов:

1. Редактирование файла топологии рамки (поиск всех элементов контроля и добавление информации об этих структурах в виде текстовых меток);
2. Заполнение информации о компоновке ФШ в файл БД;
3. Определение структуры файла-шаблона для бланка-заказа;
4. Запуск программного обеспечения с поданными на вход файлами топологии, БД, шаблона бланка-заказа и необходимыми аргументами.

По завершении работы программы получаем файлы – заполненные бланки заказов в формате docx.

Описание разработанного программного обеспечения

Для решения поставленной задачи было разработано программное обеспечение, интегрированное с САПР «*Calibre WORKbench*» фирмы «*Mentor Graphics*» [1] с помощью динамически подключаемых программных библиотек. Анализ возможности использования объектно-ориентированного языка программирования совместно с этим САПР был рассмотрен в работе [2], также в работе [2] был обоснован выбор языка программирования

Python [3] для решения задач автоматизированной подготовки топологической информации для ФШ.

Требование автоматизации процесса сбора топологической информации в соответствии с компоновкой привело к необходимости ее строгой формализации. Наиболее удобным вариантом ее формализации является использование базы данных (БД), которая будет включать в себя всю информацию о расположении каждого конкретного изображения (топологического слоя) на ФШ. Поскольку нет необходимости в высокой скорости обработки информации и хранении больших ее объемов, была выбрана, не требующая использование отдельного сервера для управления БД, СУБД SQLite[4] способная хранить информацию в виде, например, динамически загружаемой библиотеки. Из-за наличия библиотеки Storm [5] ORM (Object-Relational Mapping) [6], способной работать с SQLite, реализованной на языке Python, отпадает необходимость разработки SQL-запросов (эта функциональная нагрузка целиком и полностью ложится систему ORM). Обобщенная структура конфигурационной базы данных (КБД) для хранения информации о компоновке ФШ приведена на рисунке 1.

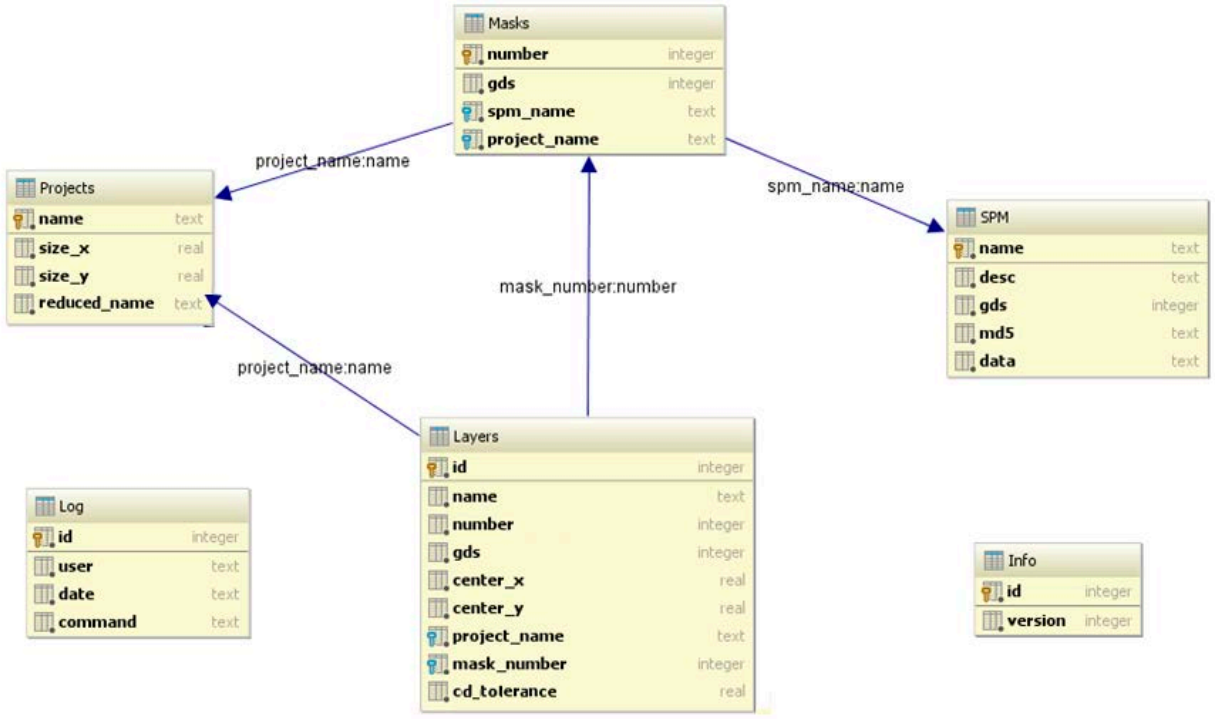


Рис. 1. Структура КБД подготовки топологической информации

КБД включает в себя шесть таблиц, где четыре таблицы связаны между собой (Projects, Masks, Layers, SPM), а остальные являются вспомогательными и никакой информации о компоновки или топологии не содержат. Их описание приведено в таблице 1.

Таблица 1 - Описание структур таблицы БД

Ключ	Имя поля	Тип	Описание поля
Структура таблицы **Projects**			
PK*	name	text	Название комплекта ФШ
	size_x	real	Размер кристалла по оси X
	size_y	real	Размер кристалла по оси Y
	reduced_name	text	Содержит сокращенное имя проекта
Структура таблицы **Masks**			
PK	number	integer	Порядковый номер ФШ в комплекте
	gds	integer	Номер результирующего масочного GDSII-слоя
FK*	spm_name	text	Имя SPM, которая должна быть размещена на ФШ
FK	project_name	text	Название комплекта, к которому относится данный ФШ
Структура таблицы **Layers**			
PK	id	integer	Идентификатор записи
	name	text	Текстовое название слоя
	number	integer	Порядковый номер слоя
	gds	integer	GDSII номер слоя
	center_x	real	Центр слоя по оси X
	center_y	real	Центр слоя по оси Y
FK	project_name	text	Название комплекта ФШ, к которому относится слой
FK	mask_number	integer	Порядковый номер ФШ в комплекте, к которому относится топологический слой
	cd_tolerance	real	Допуск на минимальный критический размер слоя
Структура таблицы **SPM**			
PK	name	text	Название (тип) структуры SPM
	desc	text	Текстовое описание структуры SPM
	gds	integer	Номер слоя GDSII
	md5	text	Контрольная сумма топологической структуры SPM
	data	blob	Данные в формате GDSII топологической структуры SPM
Структура таблицы **Log**			
PK	id	integer	Идентификатор записи
	user	text	Пользователь, выполнивший команды для обработки БД
	date	text	Дата выполнения команды
	command	text	Строка, выполненной команды
Структура таблицы **Info**			
PK	id	integer	Идентификатор записи
	version	integer	Номер версии формата представленной БД

*PK – первичный ключ, FK – внешний ключ

Описание объектов и алгоритма программного обеспечения

Программа содержит 7 основных классов: *Order*, *Project*, *Mask*, *Layer*, *CD*, *MLT*, *TR*, они описывают все необходимые объекты как топологии, так и компоновки ФШ и 3 вспомогательных класса: *LabelParser*, *SPM*, *GMOoptions*. Классы *CD*, *MLT*, *TR* содержат в себе информацию о параметрах структур и наследуются от абстрактного класса *AbstractPrimitive*, описывающего общее поведение этих объектов.

Информация о структуре каждого класса и программного обеспечения в целом наглядно продемонстрирована на рисунке 2. UML-диаграмма классов.

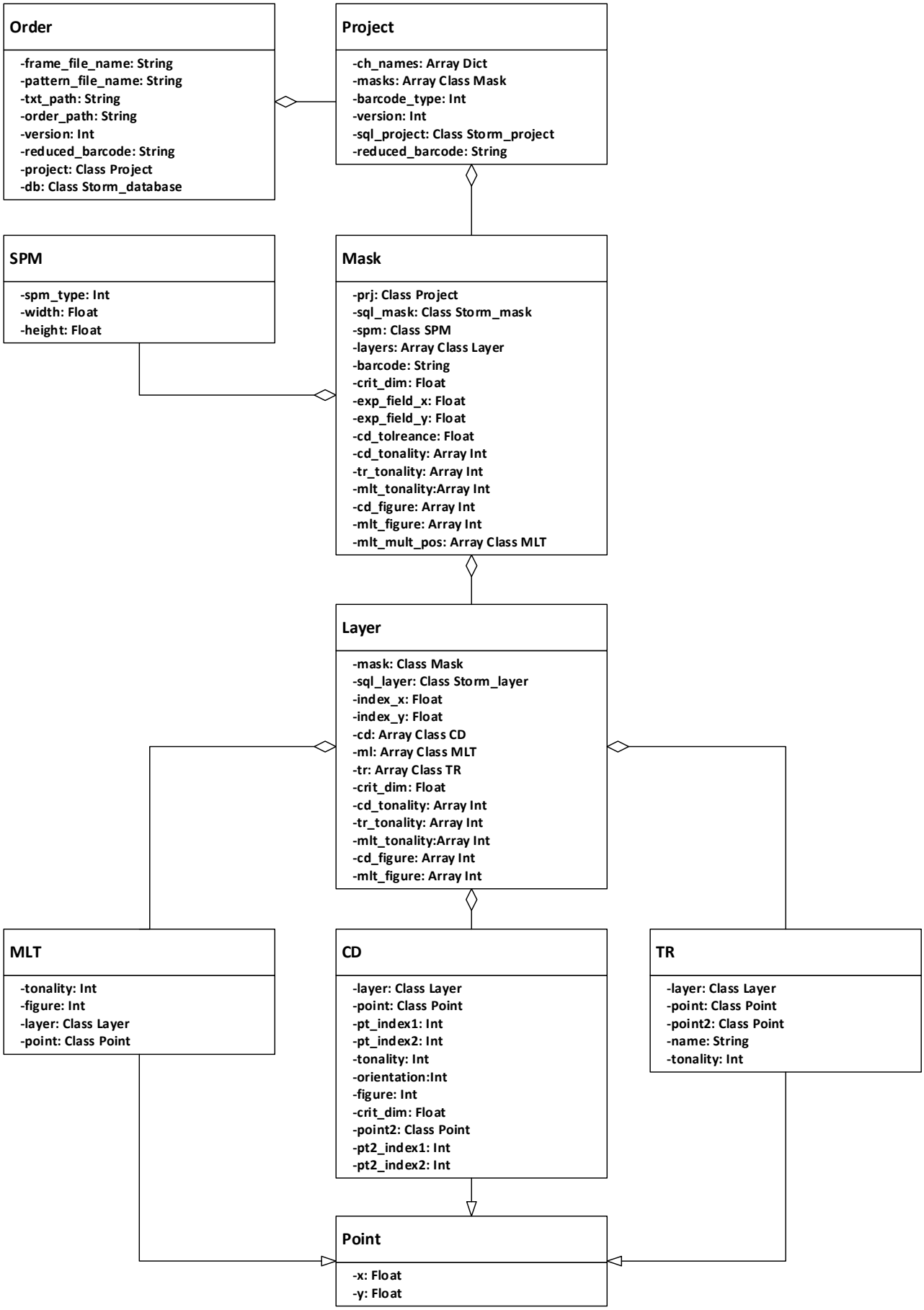


Рис. 2. UML-диаграмма классов

Класс *CD* содержит информацию о названии элемента, предназначенного для определения критического размера, его тональности, критическом размере, координатах на ФШ и номере слоя, на котором расположен элемент. Название или идентификатор строится по следующей формуле: CD_POS_ORIENT_Pt.NUM, где POS – положение слоя, на котором располагается данный *CD* на компоновке, состоит из 2 цифр, первая цифра – номер строки матрицы, вторая – номер столбца матрицы; Пример такой матрицы с обозначением приведен в таблице 2. ORIENT – ориентация *CD* на топологии. HY – обозначается *CD* с горизонтальной ориентацией, VX – с вертикальной ориентацией. NUM – обозначение измеряемой точки. Обозначение состоит из 2 цифр, первая цифра означает положение *CD* на слое (1 – слева снизу, 2 – справа сверху), вторая цифра – номер измеряемой точки (1 – центральная точка, 2 – крайняя точка). Критическим размером является ширина одной линии *CD*.

Таблица 2 - Пример матрицы обозначения положения слоя

1 1	1 2	1 3
2 1	2 2	2 3

Класс *TR* содержит информацию о названии транзистора, тональности, координатах измеряемых точек и номере слоя, где расположен элемент. Название задается пользователем.

Класс *MLT* содержит информацию о тональности фигуры мультипликации, ее координатах и слое, где расположен элемент.

Для определения этих параметров в каждом классе реализованы соответствующие методы.

На рисунке 3, в качестве примера, приведен общий вид структур элементов CD, TR, MLT.

Рис. 3. Общий вид структур элементов CD, TR, MLT

Класс *Layer* содержит информацию обо всех структурах *CD*, *TR*, *MLT*, располагающихся на данном слое, также в нем хранится информация об индексе расположения слоя на данном ФШ, номере маски, содержащей этот слой, минимальном критическом размере и общей тональности слоя. Каждый тип структуры хранится в отдельном динамическом массиве, который заполняется по мере обхода всех элементов топологии данного слоя. Для определения индекса слоя используется тот же принцип как для параметра POS в структуре *CD* (см. Таблицу 2.). Минимальный критический размер слоя определяется как минимальный из критических размеров всех структур *CD*, входящих в слой. Общая тональность слоя определяется операцией логического «ИЛИ» тональностей всех структур *CD*, входящих в слой. Также в классе реализованы следующие функции: функция принадлежности точки многоугольнику, функция нахождения ближайшего объекта к точке. Первая функция определяет принадлежность точки многоугольнику на основе лучевого алгоритма, который утверждает, что для того, чтобы точка находилась внутри

многоугольника необходимо и достаточно, чтобы луч, выпущенный из исходной точки в любом направлении, пересекал многоугольник нечетное число раз. Вторая функция определяет ближайший объект к точке на основе следующего алгоритма: на вход поступают координаты исходной точки и точек всех интересующих нас объектов, решается задача о нахождении минимального расстояния между исходной точкой и гранями многоугольника, в результате объект, расстояние от грани которого до точки минимально считается ближайшим.

Класс *Mask* содержит информацию обо всех слоях *Layer*, располагающихся на данной маске, также в нем хранится информация о структурах SPM, используемых в данной маске, штрих код маски, минимальный критический размер маски, размеры поля экспонирования, общая тональность маски. Слои хранятся в динамическом массиве, который заполняется по мере считывания всех слоев из БД. Структуры SPM (дополнительные глобальные метки совмещения) заданы отдельными классом, и поделены на 2 типа с конкретными значениями ширины и высоты, используются в программе для определения размеров поля экспонирования. Штрих код маски делится на 2 типа: полный и сокращенный. Полный штрих код маски состоит из названия проекта и комбинаций пар цифр, обозначающих слои, располагающиеся на данном ФШ, сокращенный – состоит из названия проекта и комбинаций букв/цифр, которые также обозначают используемые слои на ФШ, тип штрих кода зависит от количества слоев, располагаемых на ФШ, и сокращённого названия проекта, если выполняется неравенство $PM + 2 \cdot L > 12$, где PM – количество символов в сокращенном названии проекта, L – количество слоев на ФШ, то используется сокращенный тип штрих кода, иначе – полный. Минимальный критический размер маски получается нахождением минимального значения критического размера среди всех слоев, входящих в маску. Размеры поля экспонирования: ширина поля экспонирования определяется как большее из 2 чисел: ширина фигуры SPM и суммарная ширина кадров (W), где $W = L_{SW} + \delta_{SW}$, L_{SW} – суммарная ширина всех слоев, располагающихся на одной строке ФШ, δ_{SW} – суммарная ширина зазоров между этими слоями. Высота поля экспонирования (H) определяется по следующей формуле $H = L_{SH} + S_{SH} + \delta_{SH}$, где L_{SH} – суммарная высота всех слоев, находящихся в одном столбце, S_{SH} – высота фигур SPM, δ_{SH} – суммарная высота зазоров между этими слоями. Общая тональность маски определяется операцией логического “ИЛИ” тональностей всех слоев маски.

Класс *Project* содержит информацию о всех масках Mask, принадлежащих данному проекту, о типе штрих кода, версии проекта. Маски хранятся в динамическом массиве, который заполняется по мере считывания всех масок из БД.

Класс *Order* содержит информацию о проекте, который необходимо обработать, также в нем хранится информация о ссылках на файл БД, файл рамки, файл шаблона заказа, путь для создания текстового файла, путь папки, где будут хранится результаты. Файлом БД является динамическая библиотека, содержащая в себе информацию о проекте и компоновке ФШ (.db файл), файл с топологией рамки хранится в формате OASIS (*Open Artwork System Interchange Standard)*, либо GDS (*Graphic Database System*)[7], либо их сжатые аналоги, именно в файле рамки находятся все структуры, с предварительно установленными пользователем метками. Метки имеют специальный формат записи JSON (JavaScript Object Notation)[8], по средствам которого определяется какая структура находится на обработке. Общий вид записи информации в формате JSON выглядит следующим образом: $\{name1 : value1, name2 : value2\}$, где *name1* – является ключом, *value1* – значением, хранящимся по этому ключу, в нашем случае было решено для всех типов структур использовать общий ключ type, который однозначно укажет на тип структуры: *CD*, *MLT* или *TR*, далее некоторым структурам, по мере необходимости, были введены добавочные ключи, для структуры *CD* – ключ offset, показывающий величину сдвига крайней точки *CD* от центральной, для структуры *TR* – ключ name, именно с помощью него и задается желаемое

название транзистора в бланке заказа. Т.е. структуры типа *CD* имеют следующий формат записи *“type”:”CD”, “offset”:value*, структуры типа *TR – “type”:”TR”, “name”:”value”*, структуры типа *MLT – “type”:”MLT”*. Введение таких меток связано с потребностью разгрузить программу от перебора большого количества объектов в поисках нужного, не имеющих значения для процесса формирования бланка заказа. Файл шаблона заказа содержит в себе основную информацию от предприятия изготовителя ФШ и строки, которые подлежат замене на данные, полученные при обработке топологии, формат записи таких строк имеет следующий вид: *KEY_TO_CHANGE*. Название стандартного файла шаблона – **MASK_TEST.docx**. Файл имеет расширение docx - формат представляет собой zip-архив, содержащий текст, графику и другие данные в виде XML-документов (eXtensible Markup Language)[9]. Для его редактирования программным путем необходима разархивация, с этой проблемой помогает справится библиотека языка Python zip, после применения некоторых ее модулей получаем несколько редактируемых XML-документов. Для быстрого поиска, замены и создания новых xml-блоков используется библиотека языка Python lxml, которая предоставляет очень хороший и удобный API (***a****pplication* ***p****rogramming* ***i****nterface)* для работы с XML-документами. Для добавления в бланк информации о *CD* структурах используется функция *add_cd_param_blocks*, для добавления информации об структурах мультипликации используется функция *add_meas_blocks*, обе эти функции используют стандартный вариант создания xml-объекта, описанный в функции *add_standart_xml_block*.

Класс *LabelParser* предназначен для обработки и проверки корректности, введенных в метки данных о структурах, в случае распознавания некорректных данных, процесс обработки прерывается и пользователю предлагается исправить ошибки, в случае отсутствия ошибок программа преобразует строки, полученные из меток в JSON-объекты.

Класс *GMOoptions* предназначен для разбора аргументов, введенных в командную строку, при запуске программы. Он проверяет наличие всех необходимых для работы программы файлов, соответствие их расширений требуемым, возможность записи в рабочие папки, затем передает все полученные файлы на обработку вышеописанным модулям.

Краткий алгоритм работы программы представлен на Рисунке 4: на вход программы поступают аргументы, при помощи *GMOoptions* они обрабатываются, проверяются на ошибки, в случае корректности введенных данных создается экземпляр класса *Order*. В него передаются аргументы, далее создается экземпляр класса *Project*. запускается многоуровневый цикл, в котором выбираются все, принадлежащие проекту, маски, происходит считывание всех принадлежащих маске слоев и всех меток в слое, перевод их из текстового формата в формат JSON. После считывания всех структур происходит последовательный перебор CD, *TR, MLT* объектов, в процессе перебора происходит обработка и накопление данных. Далее, на основе полученных результатов, класс *Layer* обрабатывает собранную информацию и определяет все необходимые на этом этапе параметры, тоже происходит с классом *Mask*, далее информация уже считается собранной, последняя задача – это привести ее к нужному виду. При помощи библиотеки lxml изменить или добавить информацию в бланк и zip-библиотекой собрать все xml-документы в *docx* файлы. На выходе программы получаем бланк заказа ФШ для каждой маски и текстовые файлы, где также описаны основные параметры CD и TR структуры.

Разработанное программное обеспечение было протестировано с целью выявления ошибок. Сравнение выходных данных показало отсутствие ошибок при использовании автоматизированного метода, основанного на предлагаемой методике. Сравнение проводилось путем выполнения логической операции “исключающее ИЛИ” между выходной и эталонной информацией.

Также была проведена оценка временных затрат на формирование бланка заказа фирмы «Photronics». При использовании неавтоматизированного метода, как было сказано выше, на формирование контрольной информации затрачивается в среднем 24 часа, однако, при использовании автоматизированного метода, основанного на предлагаемой методике, вся необходимая для работы программы информация подготавливается в среднем за 1 час

(тестирование проводилось на рабочей станции со следующей конфигурацией: AMD Opteron Processor 6234 2.4ГГц, ОЗУ 128 Гб).

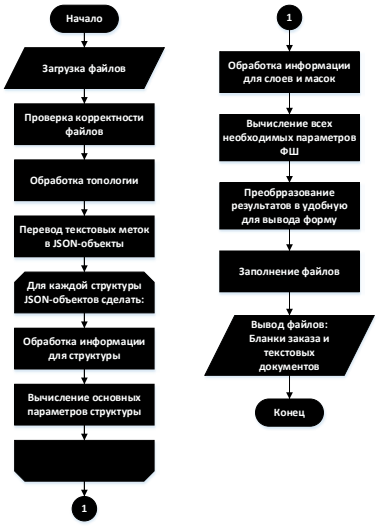


Рисунок 4. Краткий алгоритм работы программы.

Выводы

Разработано программное обеспечение для автоматизации формирования топологической информации бланка заказов ФШ, а также методика его использования. Разработанное программное обеспечение позволяет исключить возможность возникновения субъективных ошибок во время обработки топологической информации на заключительных этапах проектирования, а также снизить трудоемкость в среднем в 24 раз.

Литература

1. http://www.mentor.com/products/ic-manufacturing/
2. Гладких А.А. Использование языка программирования Python для расширения системы автоматизированного проектирования // Вестник Екатерининского Института №3 (27) 2014, с. 7-16
3. Python programming language. Электронный ресурс. https://www.python.org/
4. Kreibich J.A. Using SQLite. O'Reilly Media, Inc., 528 p. – 2009 ISBN 978-0-596-52118-9
5. Storm – an object-relational mapper (ORM). Электронный ресурс. https://storm.canonical.com/
6. C. Ireland, D. Bowers, M. Newton, K. Waugh. Understanding Object-Relational Mapping: A Framework Based Approach. The Open University, Milton Keynes, UK. International Journal on Advances in Software, vol.2 no 2&3, 2009.
7. GDSII™ Stream Format Manual. Calma Company – 1987. 47 p. Электронный ресурс. http://bitsavers.informatik.unistuttgart.de/pdf/calma/GDS_II_Stream_Format_Manual_6.0_Feb87.pdf
8. http://www.json.org/
9. https://www.w3.org/XML/
10. Глушко А.А., Гладких А.А., Зотов С.К. Алгоритм оптимизации сложной топологии элементов СБИС // Труды НИИСИ РАН. Математическое и компьютерное моделирование систем: прикладные аспекты. Т.1. №1. Москва, Издательство «НИИСИ РАН», 2011. с. 4-5.
11. Измерение проведено методом экспертной оценки сотрудников НИИСИ РАН.
12. А.Н. Россоленко, Т.Е. Голикова, В.Н. Зверев Литография в микроэлектронике. Методическое пособие для студентов МФТИ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЬЕЗОМАТЕРИАЛОВ В ПОРТАТИВНЫХ УСТРОЙСТВАХ-ГЕНЕРАТОРАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Косенко М.А.
Научные руководители: д-р, проф. Зинченко Л.А., к.т.н., доцент Макарчук В.В.
Россия, Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра «ИУ-4»

USE OF PYEZOMATERIAL& IN PORTABLE DEVICES GENERATORS OF THE ELECTRIC POWER

Kosenko M. A.
Research supervisors: Dr., prof. Zinchenko L.A., Ph.D. Makarchuk V. V.
Russia, Moscow, MGTU of N.E. Bauman, IU-4 department

Аннотация
Статья посвящена аналитическому обзору проблемы создания переносного компактного устройства, которое использует механическую энергию деформации для получения электрической энергии. Это устройство может быть использовано для питания и подзарядки маломощных устройств, таких, как маломощные источники света, мобильные телефоны, медицинские датчики. Приводится краткий анализ пьезокерамических материалов. В статье рассмотрены возможные применения пьезоматериалов для получения электроэнергии. Рассмотрены основные достоинства и недостатки возможных решений. В заключении приводятся основные требования к компактным устройствам, генерирующим электроэнергию.

Abstract
Article is devoted to the state-of-the-art review of a problem of creation of the portable compact device which uses mechanical energy of deformation for obtaining electric energy. This device can be used for food and recharge of low-power devices, such as low-power light sources, mobile phones, medical sensors. The pyezokeramicheskikh of materials is brought the short analysis. In article possible applications of pyezomaterial for receiving the electric power are considered. The main merits and demerits of possible decisions are considered. The main requirements to the compact devices generating the electric power are provided in the conclusion.

Введение

В настоящее время электрохимические батареи и аккумуляторы являются наиболее распространенным источниками питания для переносных устройств. Их существенным недостатками являются большие габариты, ограниченность запасенной энергии, а также опасность для окружающей среды при их утилизации.

Одним из возможных способов решения перечисленных выше проблем является разработка блоков питания на других принципах. В настоящее время разработано множество типов переносных генераторов: электромагнитных, электростатических, магнитогидродинамических, термоэлектрических, трибоэлектрических и пьезоэлектрических [1, 2] (рис. 1). Данная статья посвящена особенностям разработки пьезоэлектрических генераторов, в частности, при их использовании для получения электрической энергии из повседневной деятельности человека.

Рис. 1. Виды генераторов

Использование механической энергии движения человека является перспективным подходом к созданию экологически чистого и устойчивого источника питания для зарядки портативных переносных устройств, не требующих для своего функционирования большого количества электроэнергии. Пьезоэлектрический эффект состоит в том, что под действием механического напряжения или деформации в кристалле возникает электрическая поляризация, величина и знак которой зависят от приложенного напряжения. Обратный пьезоэлектрический эффект – это механическая деформация в кристалле, вызванная приложенным полем, причём величина и тип деформации зависят от величины и знака поля.

При пьезоэлектрическом эффекте возникшее в кристалле электрическое поле можно охарактеризовать вектором электрической поляризации P, вектором электростатической индукции D или вектором E, а действующее на кристалл механическое усилие – тензором механических напряжений T_{ij} [5]. Прямой и обратный пьезоэффект описываются линейными зависимостями, связывающими электрическую поляризацию P с механическим напряжением T. Коэффициент пропорциональности d называется пьезомодулем, и он служит мерой пьезоэффекта (для прямого и обратного эффектов имеет одно и то же значение). Пьезоэффект зависит не только от величины воздействия, но и характера и направления сил относительно кристаллофических осей кристалла (hис.1).

Коэффициенты $L_{эф}$, т.е. пьезомодули d_{11} , d_{22} , d_{33} , характеризуют связь между растягивающим (или сжимающим) напряжением и поляризацией в том же направлении. В поперечных эффектах $T_{эф}$ – поляризация, которая перпендикулярна вызывающей её деформации растяжения (сжатия), определяется пьезомодулями d_{12} , d_{13} , d_{23} , d_{32} , d_{31} , d_{21}.

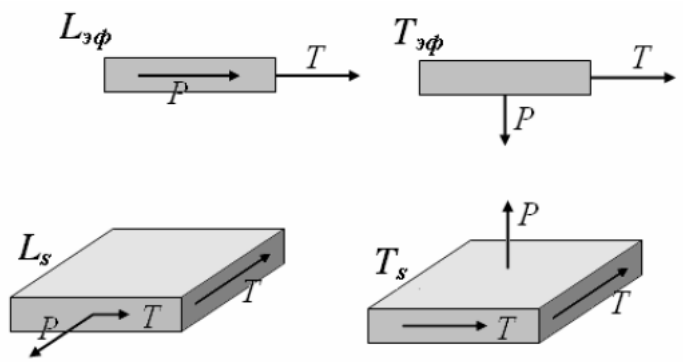


Рис. 2. Связь между деформацией и поляризацией [5]

Эффекты, типа L_s – это эффекты продольного сдвига: поляризация параллельна оси сдвига и нормальна к плоскости сдвига. Сюда относятся пьезомодули d_{12} , d_{25} , d_{36}. Сдвиговое напряжение T_s вызывает поляризацию в плоскости сдвига, поперечную к оси сдвига; связь между вектором поляризации и сдвиговым напряжением определяется пьезомодулями d_{15} , d_{16} .

Структура пьезоэлектриков позволяет создавать устройства, более компактные и простые по сравнению с устройствами, использующими другие физические эффекты.

1 Сравнительный анализ пьезоэлектрических материалов

В данный момент известны различные материалы с пьезоэлектрическими свойствами.

Ведется большое количество исследований по совершенствованию пьезоэлектрических композитных материалов, а также пористых и многослойных керамических материалов[4].

Одни из наиболее популярных пьезоэлектрических материалов – это пьезоэлектрическая керамика, изготовляемая в основном из твердых растворов цирконата титаната свинца $PbZrO_3$ - $PbTiO_3$ (ЦТС), а также полимерные пьезоэлектрики на основе поливинилиденфторида (ПВДФ) [5].

По физическим свойствам керамические материалы ЦТС (PZT) представляют собой поликристаллические сегнетоэлектрики, обладающие после поляризации в электрическом поле пьезоэлектрическими свойствами за счет ориентации зерен со случайной ориентацией кристаллографических осей вдоль поляризующего поля. В табл. 1 систематизированы данные по свойствам различных марок ЦТС.

Поливинилиденфторид (ПВДФ) (PVDF) — фторопласт, фторсодержащий полимер винилиденфторида $(C_2H_2F_2)_n$. К его достоинствам следует отнести хорошую механическую прочность и износостойкость, экологичность, безопасность, температурную стабильность. Также необходимо отметить его радиационную стойкость (свыше 7 Мрад). [2]. Материалы на основе ПВДФ выпускаются в виде плёнок толщиной от 10 мкм до 1 мм и более, металлизованных и поляризованных по толщине.

Стабильность пьезосвойств ПВДФ и керамики ЦТС находится приблизительно на одном уровне: основные параметры материалов ЦТС понижаются на 10% за 10 лет, ПВДФ — на 40% за 10 лет.

К преимуществам этих материалов перед пьезоэлектрическими монокристаллами также следует отнести возможность создания элементов нужной формы, габаритов и пластичности.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики распространенных пьезоматериалов [4]

Пьезоэлектрик	Плотность ρ, $10^3 кг/м^3$	Скорость звука, c_{iiu}, 10^3 $м/с$	Диэлектрич. проницаемость, $\varepsilon_{ii}^{\sigma}$	Коэф. упругой податлив. S_{kk}^{E}, 10^{-12} $м^2/Н$	Пьезомодуль d_k, 10^{12} $Кл/Н$	Тангенс угла диэлектр. потерь $tg\delta$, 10^2	Механическая добротность, Q_m	Коэффициент электромеханической связи (КПД), K_{ik}
ЦТБС-3	7,2	3,5	2325	11,5	158	1,2	350	0,33
		3,2		13,6	>350			0,64
ЦТСНВ-1	7,3	2,9	2325	16,3	205	1,9	70	0,37
		2,6		20,9	>445			0,69
PZT-8	7,6	3,4	1000	11,4	93	0,4	1000	0,3
		3,1		13,7	218			0,64
PZT-5H	7,5	2,8	3400	17,0	274	2,0	65	0,39
		2,5		21,3	593			0,75
PZT-4	7,5	3,3	1300	12,3	123	0,5	500	0,33
		2,9		15,4	289			0,70
ПВДФ	1,8	1,4-1,9	12	280	20	1	-	0.2
					25			

Пьезоматериалы используются при разработке и создании источников альтернативной энергии, встроенных в ботинки, рюкзаки и одежду. По сравнению с ПВДФ, материалы ЦТС являются более жесткими, хрупкими и тяжелыми, что привносит некоторые ограничения при их использовании в переносных источниках электроэнергии. ПВДФ имеет сравнительно хорошую мягкость, стабильность и отлично подходит для сгибания и придания материалу нужной формы. Принимая во внимание тот факт, что ходьба и бег человека – это движение с большой амплитудой и низкой частотой (до 3 Гц), ПВДФ значительно лучше подходит для создания переносного пьезогенератора с точки зрения удобства пользования. Весьма перспективным является создание многослойных структур из пьезоматериалов, что потенциально поможет многократно увеличить отдачу прибора и уменьшить его габариты.

Таким образом, при создании пьезогенератора, встроенного в обувь, необходимо выбирать материал, исходя из места размещения пьезоэлемента и характера нагрузок в этом месте, учитывать пластичность материала.

2 Аналитический обзор существующих портативных пьезоэлектрических генераторов

Одним из наиболее подходящих мест для встраивания пьезогенератора является обувь человека, в частности стельки и подошвы. В этом случае динамическая сила нажатия ногой на обувь создает необходимую деформацию пьезоэлемента, который вырабатывает переменный электрический ток. На рис. 3 изображена стелька, задняя часть которой содержит два ЦТС пьезоэлемента толщиной 6.35 мм [10]. В ходе испытаний измеренная мощность устройства составила 8.4 мВт.

Рис. 3. Стелька с ЦТС пьезоэлементами [10]

Использование пьезоэлементов для генерации энергии позволяет генерировать достаточно большие значения напряжения, однако ток является низким, что приводит к низкой мощности, генерируемой в таких источниках питания. Генерируемой энергии может быть достаточно для питания мигающих светодиодов, но не бытовой электроники, которая в основном использует для работы и зарядки источники постоянного тока. Кроме того, если устройство не используется, полученная электроэнергия должна храниться в аккумулирующем устройстве. При прямом подключении зарядки внешнего устройства происходить не будет, т.к. пъезоэлемент дает заряд как прямой (при нажиме), так и обратный (при отпускании). Поэтому параллельно с размещением пьезоэлементов необходимо также разработка схемы управления питанием. В большинстве разработок [7], [8]. [9]. [10] она состоит из триггеров или диодных мостов, а также понижающего преобразователя, выпрямителя и конденсаторов, накапливающих энергию. Все эти элементы возможно уместить в обуви, причем удобство ношения будет сохранено. Пример подобной схемы с использованием микросхемы LTC3588 изображен на рисунке 4. Микросхема предназначена для управления процессами аккумулирования энергии от пьезоэлемента, а также передачи ее внешнему устройству, имеет мостовой выпрямитель и DC/DC-преобразователь. Технические характеристики LTC3588:

Входной ток покоя: 950 нА

Диапазон входного напряжения: 2.7...20 В

Выходной ток: до 100 мА

Уровень выходного напряжения: 1.8 В, 2.5 В, 3.3 В или 3.6 В

Диапазон рабочих температур -40...+125ºС

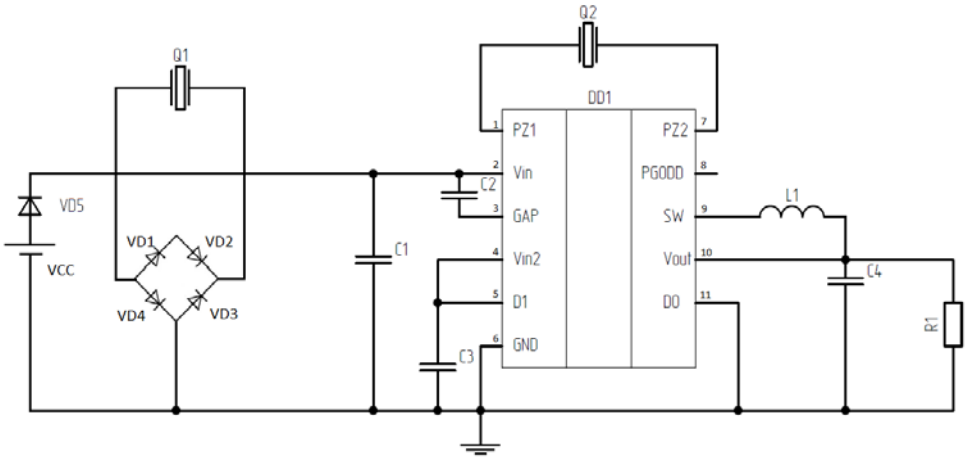


Рис. 4. Схема управления питанием [9]

При применении пьезокерамики необходимо учитывать твердость и сравнительную хрупкость этого материала, так как давление ноги при движении распределяется по ботинку неравномерно, а исследования показывают, что максимальное давление (особенно при беге) в некоторых точках может составлять 500-1000 КПа [7]. Для решения этой проблемы в конструкции [12] дополнительно использован воздушный поршень (Рис. 5).

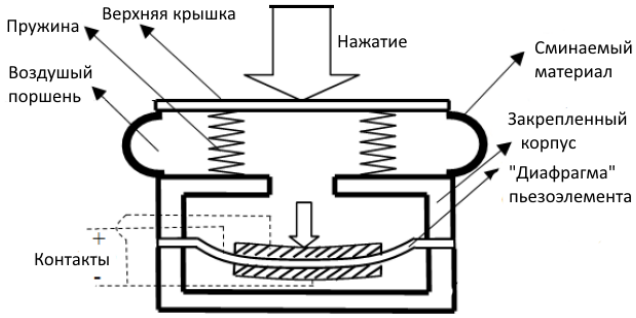


Рис. 5. Пьезогенератор с поршнем [12]

Генератор с подобным поршнем может использовать обычные ЦТС пластины без риска их повредить, а параметры полости снаружи пьезоэлемента могут быть легко рассчитаны исходя из свойств материала. Пьезоэлемент в данной конструкции закрывает лишь часть поверхности диафрагмы: если диафрагма прогибается под давлением, то могут появиться краевые области, в которых пьезоэлемент выгнут в обратную сторону, что может создать заряды разных знаков на одной стороне элемента и привести к снижению мощности [12]. Также конструкция может быть усовершенствована путем разделения нижней и верхней части поршня. За счет этого можно будет отсоединять нижнюю часть с пьезоэлементом и использовать её в другой паре обуви.

При использовании многослойных пленок ПВДФ проблемы хрупкости можно избежать. Более того, механические свойства материала ПВДФ обеспечивают необходимую гибкость и эластичность. В одной из разработок [9] ПВДФ пленки помещены между двумя твердыми рифлеными пластинами (рис. 6) и соединены параллельно (для увеличения тока).

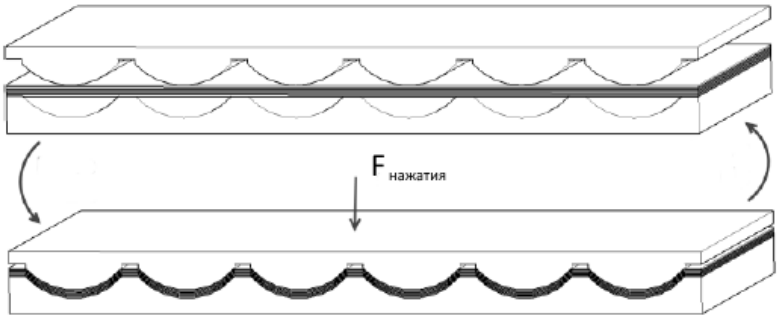


Рис. 6. Рифленая структура с ПВДФ

Когда верхняя пластина нажимается ногой, она вдавливает пьезоматериал в углубления нижней пластины, что помогает равномерно распределить и увеличить нагрузку и использовать всю поверхность материала для генерации электричества. При отжимании верхней пластины пленка распрямляется, и возникает ток обратного направления. Такая конструкция будет удобна в тех случаях, когда обувь небольшая или имеет мало свободного места под генератор, кроме того можно покрыть материалом большую часть поверхности соприкосновения с ногой (рис. 6) .

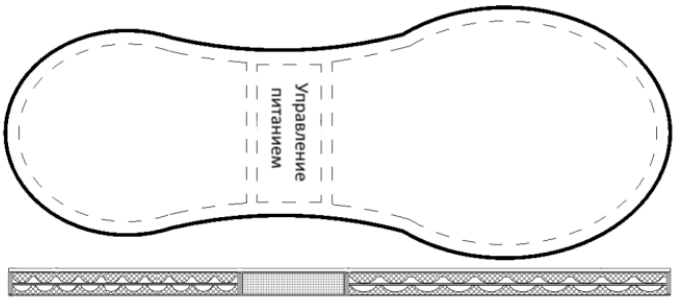


Рис. 7. Схема гибкого генератора на основе ПВДФ [9]

При испытании образцов обуви со встроенными генераторами получают графики напряжения и мощности на резисторе нагрузки. В ходе экспериментов была достигнута мощность 1мВт и напряжение 3.4 В. Эти значения в большинстве случаев показывают, что пьезогенератора в обуви пока не хватает для питания телефонов, часов, но может быть достаточно для питания шагомеров, маломощных датчиков слежения за здоровьем, перемещением и т.д.

В работе [9] в цепь управления питанием включены кнопочные батареи, чтобы питание оставалось равномерным, а устройство-нагрузка могла работать, если человек остановился. В этом случае к генератору можно подключать бытовые устройства на постоянном токе, а пьезоэлементы будут играть роль поддержки батарей. Немаловажной проблемой также яляется коммутация генератора и потребителей, расположенных вне обуви – провод, тянущийся от ботинка к одежде неудобен носителю.

Таким образом, при разработке обуви с пьезоэлементами получить большие значения токов затруднительно, что подходит для маломощных потребителей, расположенных рядом с самим генератором. Тем не менее, разработки новых материалов и методов их расположения в обуви и одежде весьма перспективны.

3 Гибридный источник питания на основе ПВДФ

Обычно выработку энергии и её хранение разделяют на два процесса, что отражается в двух устройствах, действующих на базе разных физических принципов, например, пьезогенератор (конвертирует механическую энергию в электричество) и литий-ионная батарея (хранит электроэнергию в виде химической энергии) . В [11] было представлено устройство, объединяющее эти процессы в один. За счет замены полиэтиленового разделителя между электронами обычной батареи-таблетки на пленку ПВДФ, батарея может заряжаться за счет нажатия, что позволяет устанавливать её на подошву ботинка, под кнопками телефона, калькулятора и т.д.

Пленка ПВДФ по толщине может установить пьезоэлектрический потенциал под воздействием внешнего давления, что помогает миграции ионов лития из катода ($LiCoO_2$) в материал анода. Анод изготовлен из нанотрубок TiO_2 (Рис. 8) [11]

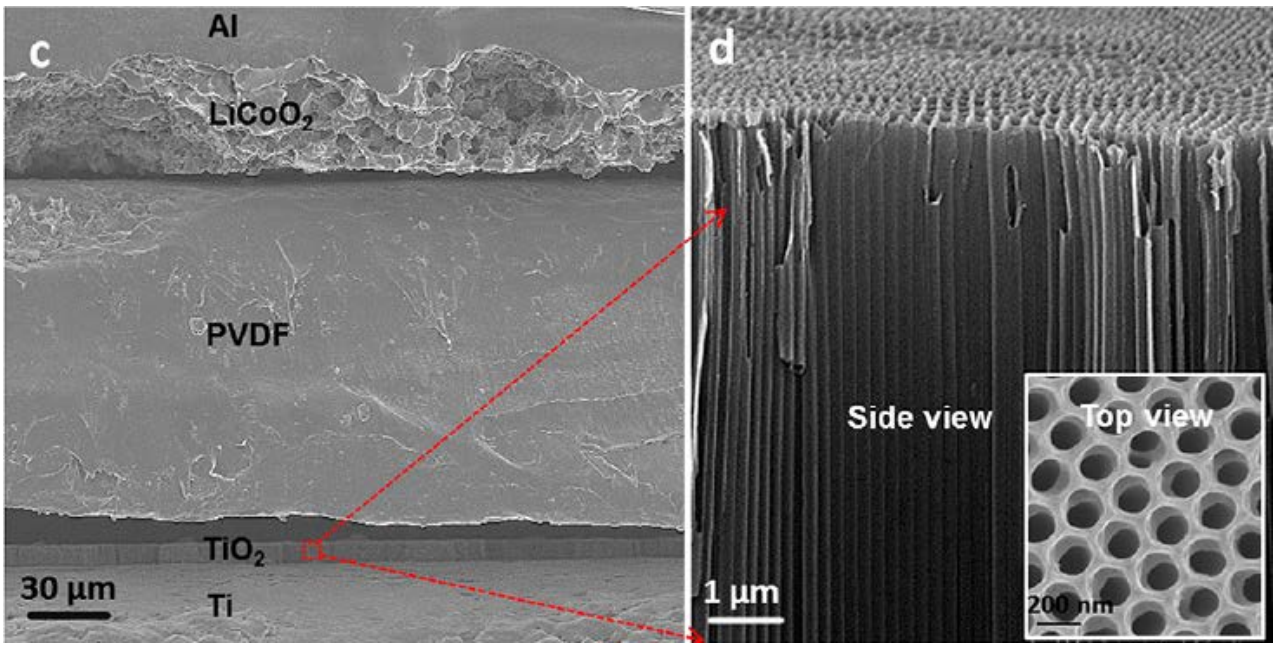


Рис. 8. Микрофотография структуры аккумулятора с пьезоразделителем [11]

Нанотрубчатая структура имеет значительную площадь поверхности, что ускоряет химические реакции в аккумуляторе. Пленка ПВДФ устанавливается с такой полярностью, что при нажатии образуется положительный потенциал на катоде и отрицательный на аноде, а ионы лития мигрируют к аноду по специальным каналам в пленке – происходит зарядка аккумулятора.

Таким образом, использование пьезоматериалов и нанотрубок является одним из приоритетных направлений совершенствования аккумуляторов, а совмещение зарядного устройства с аккумулятором экономит пространство, облегчает пользование, продлевает срок его службы.

Заключение

В результате анализа существующих конструкций пьезогенераторов были определены основные концепции применения пьезоматериалов в генераторах электроэнергии. Применение пьезокерамики ЦТС, являющейся наиболее популярным на сегодняшний день пьезоматериалом, сопряжено с необходимостью создания защитных средств, которые не позволят разрушаться материалу при больших циклических деформациях. Применение пьезополимеров ПВДФ позволяет создавать гибкие конструкции, более устойчивые к разнообразным нагрузкам. Для создания генераторов электроэнергии, устанавливаемых в одежду и обувь, наиболее рациональным представляется комбинирование этих материалов с учетом характера, места и интенсивности нагрузки, формирование многослойных пьезоструктур, а также размещение потребителей в непосредственной близости от источника питания. Альтернативой использования пьезоэффекта для выработки электроэнергии может послужить модификация современных аккумуляторов с помощью пьезоматериалов.

Литература

1. Негоденко О.Н., Липко С.И., Зинченко Л.А., Прокопенко В.Г. Схемотехника экологических датчиков с пьезоэлектрическими резонаторами. Известия СКНЦ ВШ, сер. техн. науки, 1992, №3-4., с.43-45.
2. Шахнов В. А., Зинченко Л.А., Терехов В.В., Михайличенко С.С. Радиационная стойкость микроэлектромеханических систем // Наноинженерия, №9, 2015. С. 13-17.
3. Негоденко О.Н., Зинченко Л.А., Румянцев К.Е., Липко С.И. Схемотехника, моделирование и применение транзисторных устройств с отрицательным сопротивлением. Таганрог, ТРТУ, 2002. 221 с.
4. Прохоров А.М., ред. Физическая энциклопедия в 5-ти томах. Т. 4. Москва, Большая Российская энциклопедия, 1994, . с.188-191
5. Горяева А.М. Электрические свойства кристаллов [Электронный ресурс]. Москва, 2008, С. 42-54. URL:http://cryst.geol.msu.ru/literature/kurs/2008_01_goriaeva.pdf (дата обращения 12.11.2015).
6. Плотянская М.А., Киршина И.А., Филонов О.М. Материаловедение и материалы электронной техники: Текст лекций СПб ГУАП, 2004, с.89-91.
7. Chapman P.L., Xudong Zhang Evaluation of Motions and Actuation Methods for Biomechanical Energy Harvesting , Power Electronics Specialists Conference, 2004, vol.3, pp. 2100-2103.
8. Joel Feenstraa, Jon Granstroma, Henry Sodanob Energy harvesting through a backpack employing a mechanically amplified piezoelectric stack Mechanical Systems and Signal Processing, 2008, vol.22, pp. 722-724 .
9. Jingjing Zhao, Zheng You Shoe-Embedded Piezoelectric Energy Harvester for Wearable Sensors Sensors, 2014, vol.14, pp 12499-12507 .
10. Nathan S. Shenck, Joseph A. Paradiso Energy scavenging with shoe-mounted piezoelectrics Micro, IEEE, 2001, vol.21, pp. 31-35.
11. Xinyu Xue, Sihong Wang, Wenxi Guo,Yan Zhang, Zhong Lin Wang Hybridizing Energy Conversion and Storage in a Mechanical-to-Electrochemical Process for Self-Charging Power Cell Nano letters, 2012, vol. 12(9), pp.1-3.
12. Naser Haghbin Shoe embedded air pump type piezoelectric power harvester Ryerson University Digital Commons, 2011, vol. 1, pp. 16-18.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке
гранта РФФИ 16-07-00676 а

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Ковалев Д.Д.
Научный руководитель*: *доцент Соловьев В.А.,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация
Консультант*: *главный конструктор по электронике Морозов А.А.,
ЗАО «ИТТ», Раменское, Российская Федерация

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE OUTPUT SIGNAL OF MICROMECHANICAL GYROSCOPE OF INERTIAL NAVIGATION SYSTEM

Kovalev D.D.
Supervisor of studies:assistant professor Soloviev V.A.,
BMSTU, Moscow, Russian Federation
Consulter: chief designer of electronics Morozov A.A.,
JSC «ITT», Ramenskoe, Russian Federation

Аннотация
Работа посвящена проведению экспериментального исследования зависимости выходного сигнала гироскопа от изменения температуры окружающей среды. Выявлена зависимость характера выходного сигнала гироскопа от его расположения относительно направления обдува вентилятором камеры тепла. Определено влияние термоизоляции датчика и электронной части на выходной сигнал гироскопа. Полученные результаты исследования могут быть использованы для программной компенсации возникающей температурной погрешности.

Abstract
The paper is devoted to experimental research of the dependence of micromechanical gyroscope's output signal from the ambient temperature. The dependence of the nature of gyro output signal from the location relative to the direction of airflow of heat chamber's fan is research. The effect on gyro output signal from the thermal insulation of the sensor and the electronic part is defined. The results of research can be used to program compensation occurring temperature error.

Введение

С течением времени и развитием технологий требования к современной аппаратуре становятся жестче, что приводит к необходимости ее миниатюризации, повышению быстродействия, усовершенствованию.

Инерциальная навигация представляет собой метод определения координат и параметров движения объектов и управления их движением, основанный на свойствах инерции тел и являющийся автономным, т.е. не требующим наличия внешних ориентиров и сигналов извне [1]. Технология инерциальных навигационных систем (ИНС), обеспечивающих навигацию и автономное помехозащищенное управление системами вооружения космического, воздушного, морского и наземного базирования, является одной из критически важных технологий.

В зависимости от наличия гиростабилизированной платформы ИНС разделяются на платформенные и бесплатформенные (БИНС). В БИНС акселерометры и гироскопы жестко связаны с корпусом объекта [2-4]. Благодаря отсутствию гиростабилизированной платформы БИНС имеют простую конструкцию и малые габариты, однако к ним предъявляются более жесткие требования, особенно по диапазону входной угловой скорости гироскопов.

Обеспечение необходимой точности при эксплуатационном изменении температуры – одно из основных требований к системам инерциальной ориентации и навигации. В качестве такой системы в данной работе рассматривается БИНС среднего класса точности на основе современных микромеханических датчиков [5-7]. Блок-схема БИНС с точки зрения выполняемых функций приведена на рисунке 1.

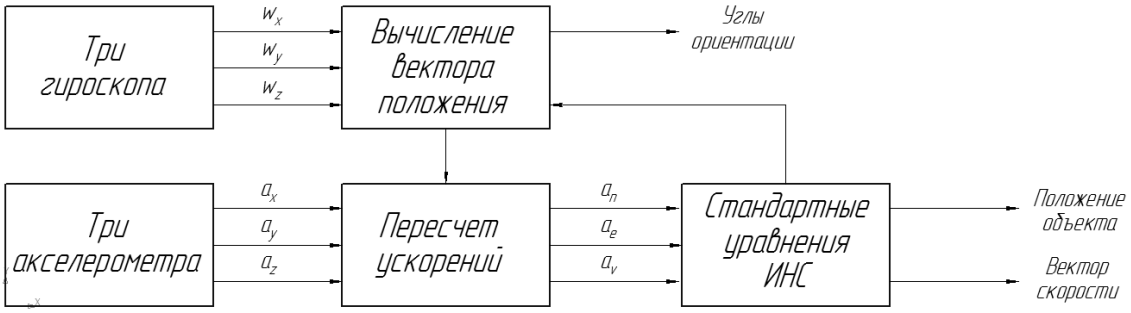


Рис. 1. Блок-схема БИНС с точки зрения выполняемых функций

Цель данной работы заключается в исследовании характера температурной зависимости выходного сигнала гироскопа и предложении способов компенсации этой зависимости.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– разработать план проведения исследования температурной зависимости выходного сигнала гироскопа;

– провести температурные испытания гироскопов согласно разработанному плану;

– проанализировать полученные результаты, выявить характер зависимости и предложить способы ее компенсации.

Рассмотрим подробнее сформулированные задачи.

1 План проведения исследования температурной зависимости выходного сигнала гироскопа

Объектом исследования является блок чувствительных элементов (БЧЭ), входящий в состав БИНС. Предмет исследования – температурное влияние на выходной сигнал гироскопов. БЧЭ включает в себя по 3 гироскопа и термодатчика (по одному на каждую из осей чувствительности БИНС) и соответствующую электронную часть. Для проведения эксперимента необходимы установка для проверки БЧЭ, устройство сбора данных, камера тепла/холода, ноутбук с предустановленным ПО и источник питания [3].

БЧЭ размещают в камере тепла на специальном приспособлении. Температурный режим камеры устанавливается программно в соответствии с циклограммой, представленной на рисунке 2

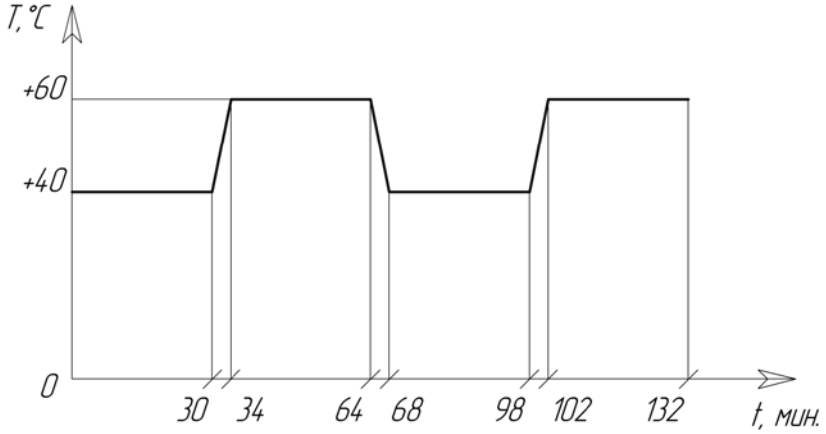


Рис. 2. Циклограмма работы камеры тепла

Приспособление подключается к установке, находящейся снаружи, а установка подсоединяется к источнику питания и входу 16-разрядного АЦП устройства сбора данных, информация с которого передается на ноутбук с предустановленным ПО.

Эксперимент состоит из четырех этапов, для которых установлены условия, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Этапы проведения эксперимента

№ этапа	1	2	3	4
Условия	– Изменение температуры в камере по циклограмме (см. рисунок 2) – Датчики не вакуумированы			
	– Датчики без термоизоляции – Канал Y расположен вблизи вентилятора камеры	– Датчики без термоизоляции – Канал X расположен вблизи вентилятора камеры	– Датчик канала Y обклеен термоизоляцией – Часть платы под датчиком с нижней стороны также защищена термоизоляцией	– Датчик канала Y обклеен термоизоляцией по периметру и сверху – Часть платы под датчиком с нижней стороны не защищена – Датчик канала Z без термоизоляции – Электроника канала Z обклеена термоизоляцией

2 Определение влияния расположения БЧЭ относительно направления обдува вентилятором камеры на выходной сигнал гироскопов

На рисунках 3 и 4 представлены результаты этапа №1. Сигналы датчиков представлены в виде напряжения, снимаемого с соответствующего выхода.

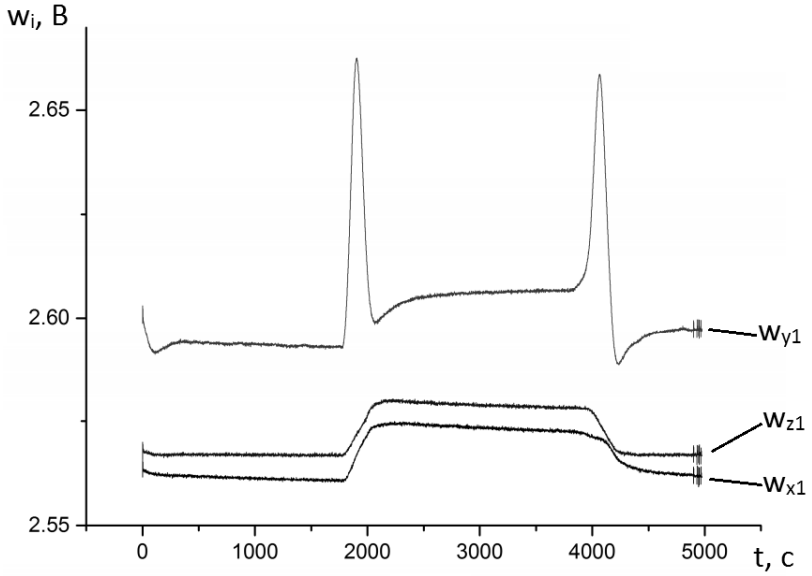


Рис. 3. Выходные сигналы гироскопов (Этап №1)

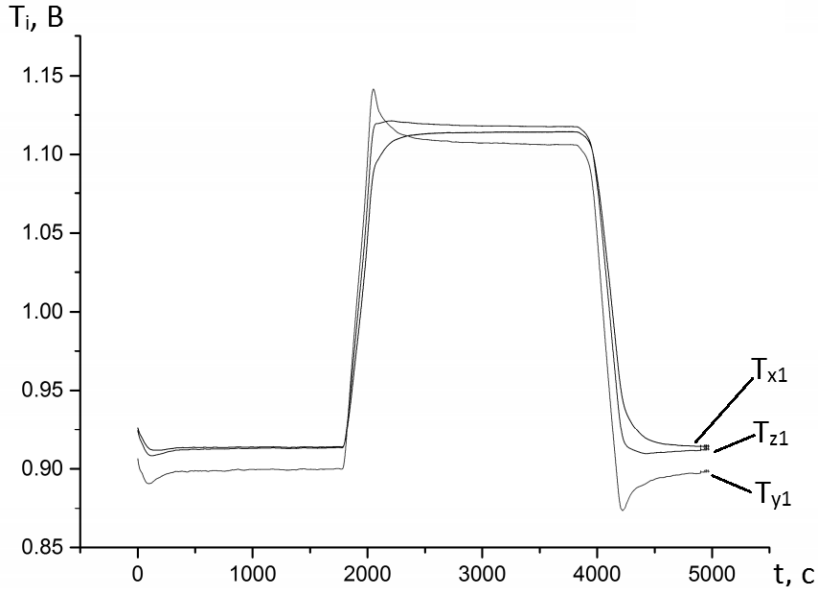


Рис. 4. Выходные сигналы термодатчиков (Этап №1)

Здесь и в дальнейшем приняты следующие обозначения:

– w_{ij}, В – величина выходного сигнала гироскопа, где i – индекс канала (X, Y, Z), а j – порядковый номер этапа эксперимента;

– T_{ij}, В – величина выходного сигнала термодатчика, где i – индекс канала (X, Y, Z), а j – порядковый номер этапа эксперимента;

– t, с – время проведения эксперимента.

В выходном сигнале гироскопа канала Y наблюдается импульс величиной 56 мВ при изменении температуры, также небольшой импульс имеется и в выходном сигнале термодатчика канала Y (величина перерегулирования 33,5 мВ). Перерегулирование сигнала термодатчика объясняется расположением БЧЭ относительно вентилятора камеры – канал Y находится у стенки камеры рядом с вентилятором. Чтобы обеспечить требуемую скорость повышения температуры, воздух, нагнетаемый вентилятором, разогрет сильнее, что и фиксируется термодатчиком.

На рисунке 5 представлены выходные сигналы гироскопа и термодатчика канала Y.

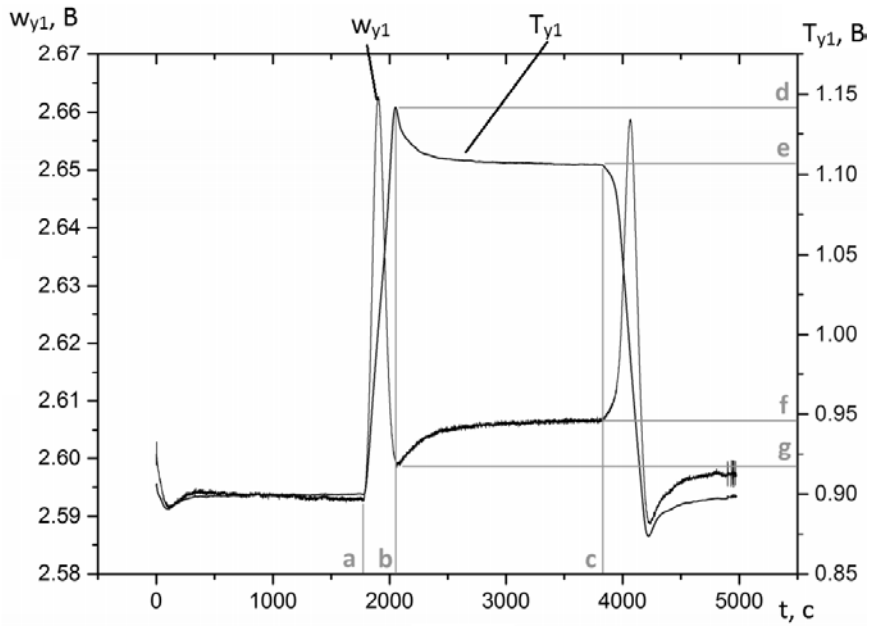


Рис. 5. Выходные сигналы гироскопа и термодатчика канала Y (Этап №1)

На участке «a-b» графика температура в камере изменяется со скоростью 5 °С/мин в соответствии с программой, и выходной сигнал гироскопа реагирует на это изменение резким импульсом, не коррелирующим с изменением температуры среды.

На участке «b-c» скорость изменения температуры уменьшается и наблюдается корреляция двух функций. На данном участке коэффициент корреляции [4] функции выходного сигнала гироскопа от функции сигнала термодатчика принимает значение -0,984.

В точке «c» температура в камере начинает снижаться (-5 °С/мин) до +40 °С, что вызывает всплеск выходного сигнала гироскопа, аналогичный импульсу на участке «a-b». Важным фактором является направление импульса – в первое случае есть совпадение с направлением изменения сигнала термодатчика, во втором – направления противоположны. С точки зрения теории автоматического управления наблюдаемые импульсы в выходном сигнале гироскопа являются реакцией на ступенчатое входное воздействие и в данном случае характерны для конкретного датчика.

На рисунке 6 представлены выходные сигналы гироскопа и термодатчика канала Z, записанные на том же этапе эксперимента.

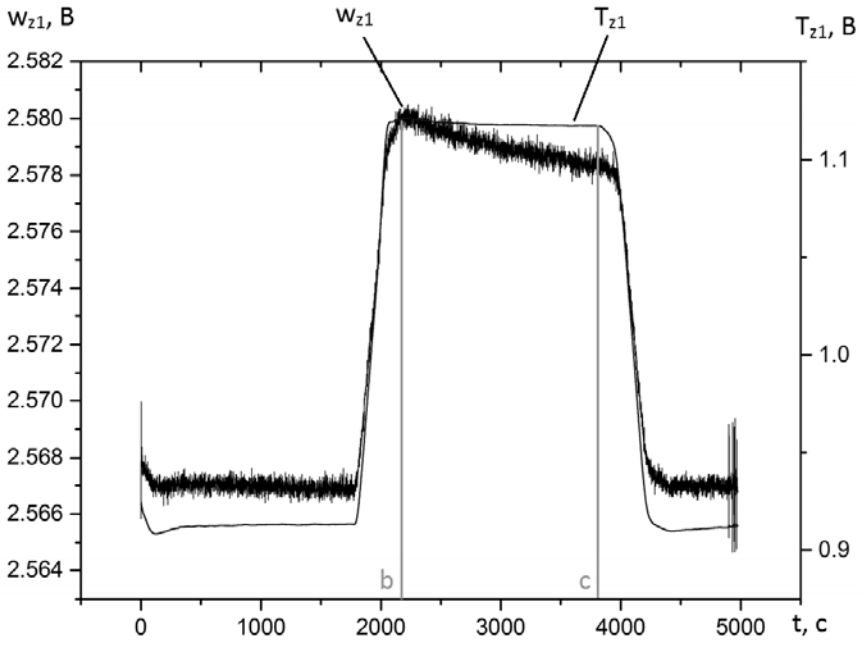


Рис. 6. Выходные сигналы гироскопа и термодатчика канала Z (Этап №1)

В данном случае импульсы в сигнале датчика температуры и выходном сигнале гироскопа отсутствуют. Коэффициент корреляции между сигналами на участке «b-c» составляет 0,879. Аналогичный характер имеют выходные сигналы гироскопа и термодатчика канала X.

Для определения влияния расположения БЧЭ относительно направления обдува вентилятором камеры на участках изменения температуры на втором этапе эксперимента БЧЭ был размещен таким образом, что у вентилятора оказался датчик канала X. Изменение температуры в камере осуществлялось по циклограмме (см. рисунок 1).

На рисунке 7 представлены графики изменения выходного сигнала гироскопа и термодатчика канала Y, на рисунке 8 – канала X.

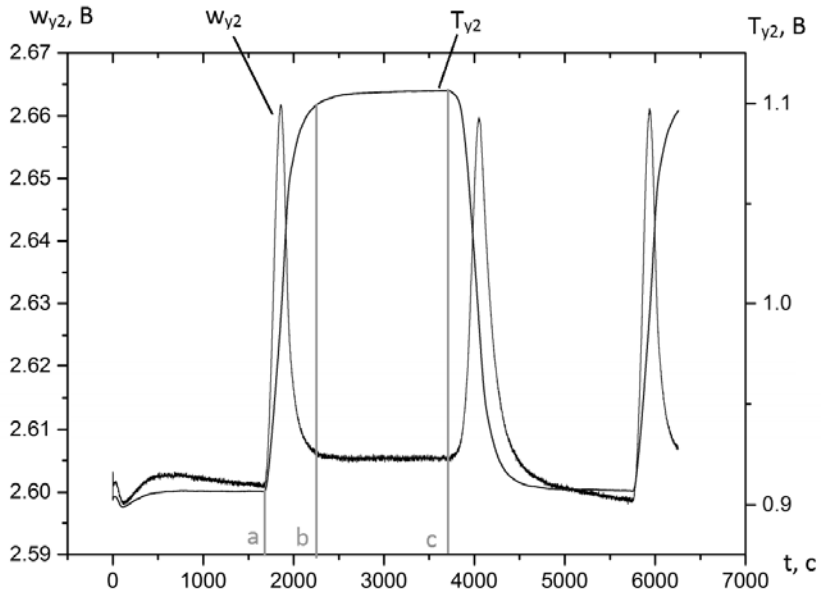


Рис. 7. Выходные сигналы гироскопа и термодатчика канала Y (Этап №2)

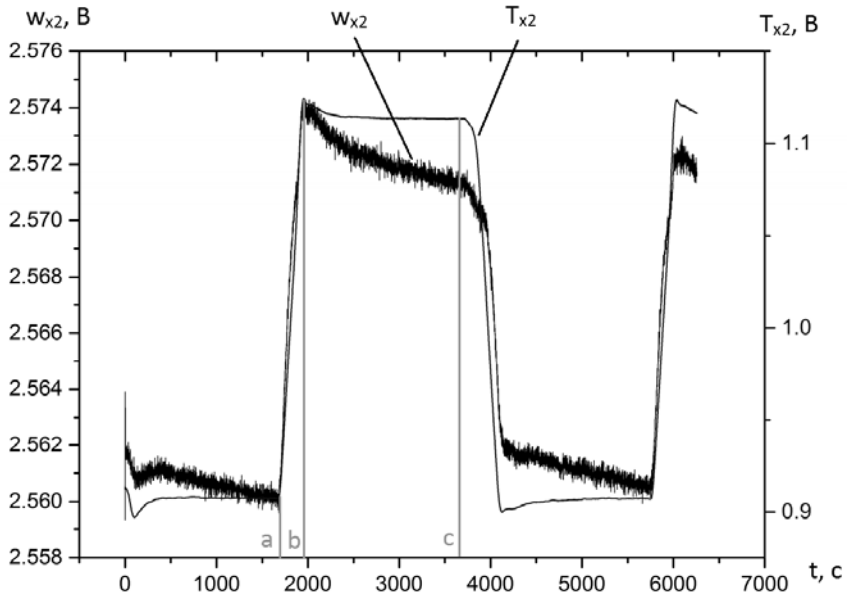


Рис. 8. Выходные сигналы гироскопа и термодатчика канала X (Этап №2)

На участках «a-b» рисунков 5 и 7 наблюдаются аналогичные всплески выходного сигнала гироскопов. В то же время перерегулирование в сигнале термодатчика канала Y отсутствует, но присутствует в сигнале термодатчика и гироскопа канала X (см. рисунок 8), что подтверждает тот факт, что нагнетаемый вентилятором воздух разогрет до большей температуры. Коэффициент корреляции на участке «b-c» составляет 0,839.

На данном этапе можно сделать следующие выводы:

– характер поведения выходных сигналов гироскопов каналов X и Y различен на участке изменения температуры (в канале Y при изменении температуры возникают импульсы);

– в установившемся режиме наблюдается увеличение коэффициента корреляции между выходным сигналом гироскопа и сигналом термодатчика.

– величина перерегулирования в показаниях датчиков зависит от расположения БЧЭ относительно направления обдува вентилятором камеры.

3 Определение влияния термоизоляции на выходной сигнал гироскопов

Для определения звена, приводящего к появлению импульса в выходном сигнале гироскопа канала Y (см. участок «a-b» на рисунках 5, 7), необходимо произвести разделение электроники и чувствительного элемента.

На третьем этапе эксперимента датчик канала Y был помещен в кожух из самоклеющейся термоизоляции так, чтобы термоизоляция закрыла датчик и нижнюю часть платы под датчиком. Под термоизоляцией оказался также и предусилитель контура измерения.

Данный этап производился по схеме, аналогичной предыдущему. Сигналы термодатчика и гироскопа канала Y приведены на рисунке 9.

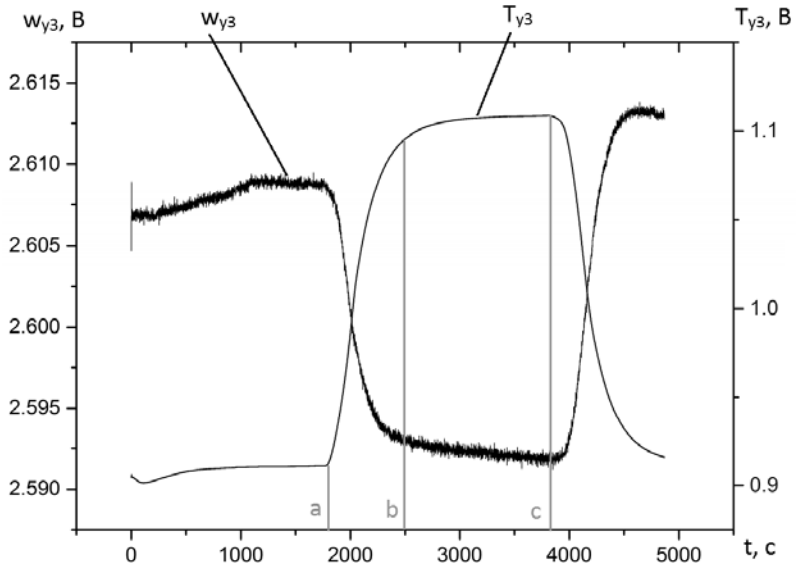


Рис. 9. Выходные сигналы гироскопа и термодатчика канала Y (Этап №3)

На графике отсутствуют всплески в выходном сигнале гироскопа на участке «a-b» (см. рисунок 9), которые наблюдались на аналогичном участке на рисунках 5 и 7. Кроме того, следует отметить, что с повышением температуры в камере значение выходного сигнала гироскопа увеличивалось в отсутствии термоизоляции, а при ее наличии, наоборот, уменьшалось. Термоизоляция изменяет распределение температуры вокруг датчика, что и приводит к подобному эффекту. Коэффициент корреляции на участке «b-c» составляет -0,973.

На этапе №4 с части платы под датчиком канала Y термоизоляция была удалена, чтобы исключить ее влияние на предусилитель контура измерения. С другой стороны, термоизоляция была установлена на электронику канала Z. Схема проведения эксперимента осталась прежней.

Полученные временные диаграммы выходного сигнала гироскопа и термодатчика для канала Y представлены на рисунке 10, а для канала Z – на рисунке 11.

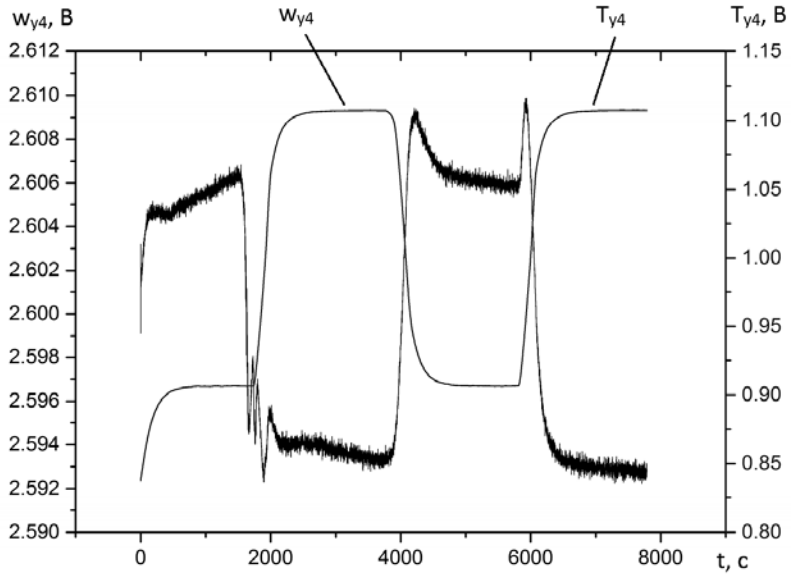


Рис. 10. Выходные сигналы гироскопа и термодатчика канала Y (Этап №4)

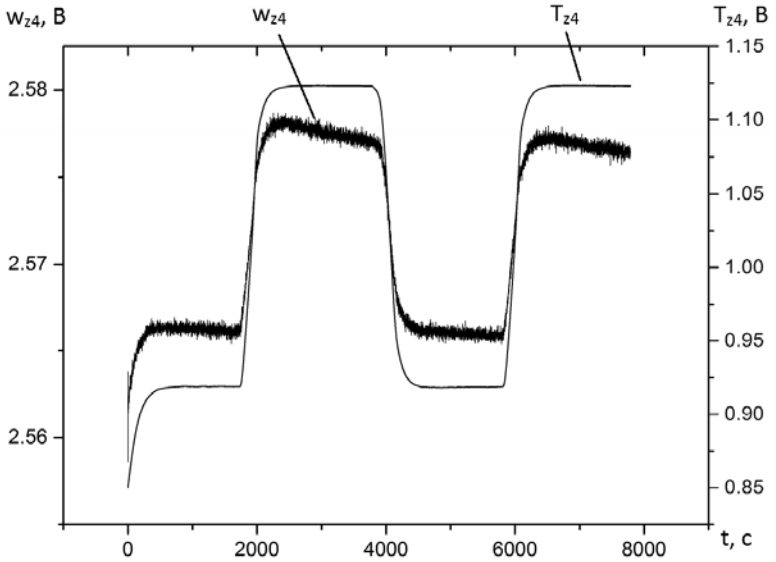


Рис. 11. Выходные сигналы гироскопа и термодатчика канала Z (Этап №4)

После снятия термоизоляции с предусилителя контура измерения характер температурной зависимости выходного сигнала гироскопа канала Y изменился – появились всплески. Сравнение сигналов w_{y3} (термоизоляция датчика и усилителя) и w_{y4} (термоизоляция только датчика) представлено на рисунке 12.

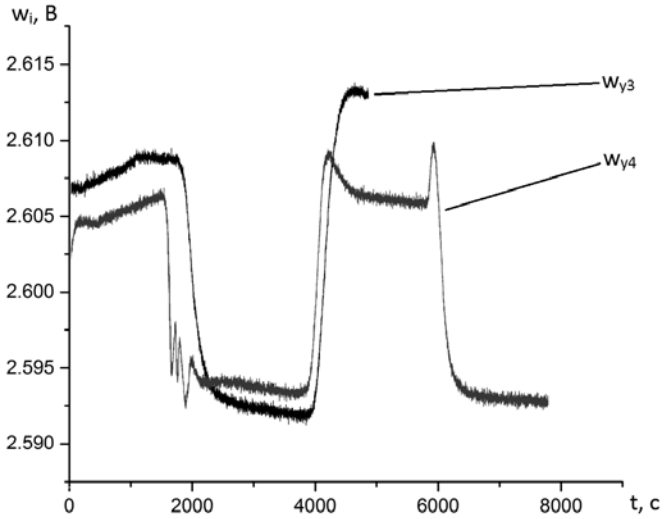


Рис. 12. Выходные сигналы гироскопа канала Y при различных способах размещения термоизоляции

Смещение графиков по оси времени обусловлено различием момента начала записи, но по характеру выходных сигналов можно утверждать, что постоянная времени переходного процесса для w_{y4} меньше постоянной времени для w_{y3}.

На рисунке 13 представлены графики выходных сигналов гироскопов и термодатчика для каждого из трех каналов по четырем этапам эксперимента. Наибольшая повторяемость наблюдается у датчика канала Z.

В канале Z выходной сигнал w_{z4} (с изоляцией электроники, см. рисунок 11) не имеет существенных отличий с сигналами при отсутствии термоизоляции, что представлено на рисунке 13(в). Выброс в сигнале w_{z3} коррелирует с сигналом термодатчика.

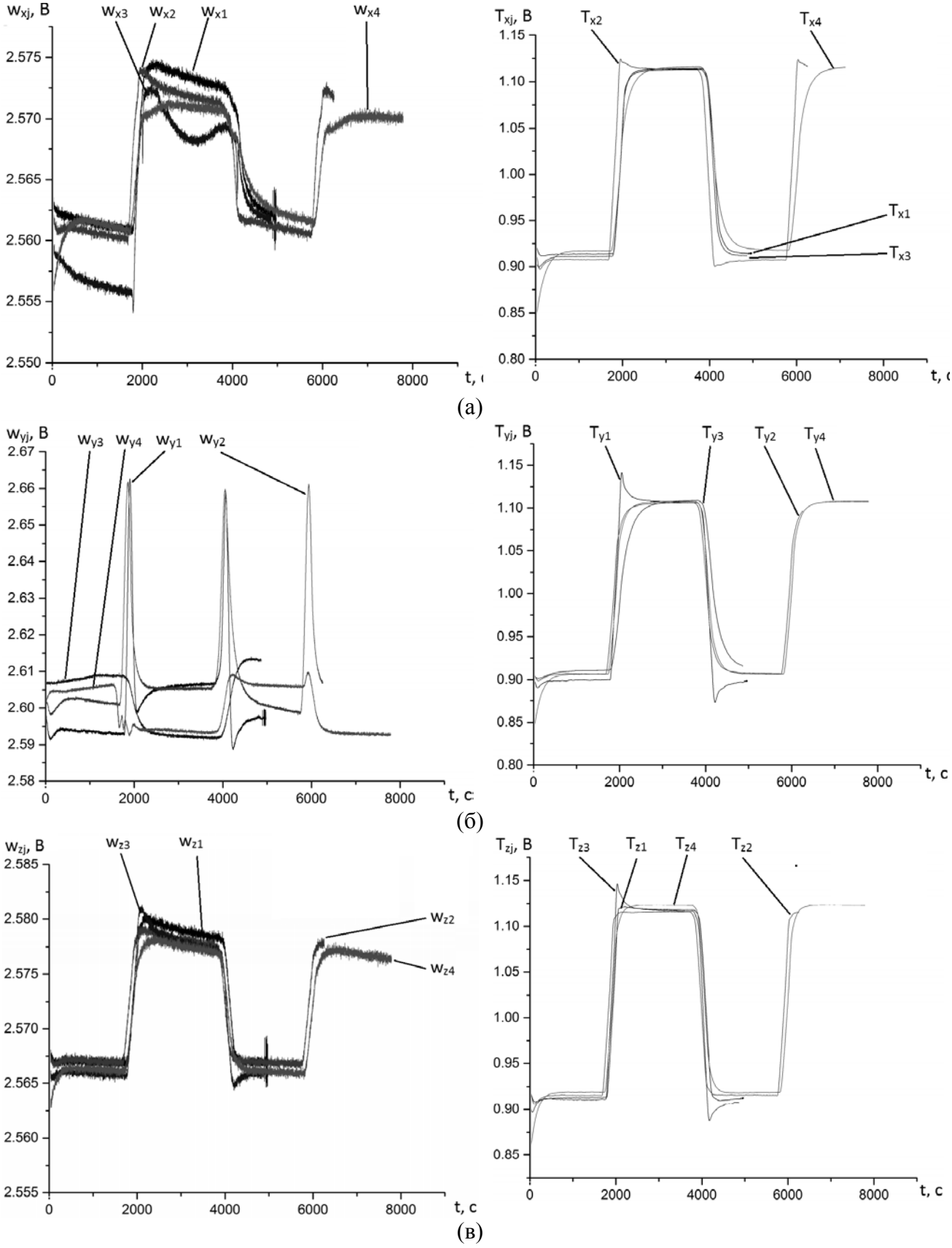


Рис. 13 – Выходные сигналы гироскопов и термодатчиков при различных способах размещения термоизоляции и расположения БЧЭ в камере
(а) – канал X; (б) – канал Y; (в) – канал Z

На данном этапе можно сделать следующие выводы:

– влияние термоизоляции датчика существеннее влияния термоизоляции электроники;

– наличие термоизоляции датчика приводит к снижению выходного сигнала при повышении температуры окружающей среды;

– предусилитель контура измерения датчика канала Y в большей степени подвержен влиянию температуры и скорости изменения температуры.

Заключение

В рамках данной работы были достигнуты следующие результаты.

Разработан план проведения исследования температурной зависимости выходного сигнала гироскопа – определены объект и предмет исследования, оборудования, выделены этапы эксперимента: определение влияния расположения БЧЭ относительно вентилятора камеры тепла и определение влияния расположения термоизоляции.

В соответствии с разработанным планом был проведен эксперимент, который позволил выявить зависимости и в дальнейшем их проанализировать.

В результате анализа полученных зависимостей сделаны выводы о влиянии размещения термоизоляции и расположения БЧЭ относительно направления обдува вентилятором камеры на выходные сигналы датчиков. Было выявлено, что значения выходного сигнала гироскопов и термодатчиков коррелируют.

Дальнейшая работа заключается в описании дифференциальных уравнений, связывающих изменения сигналов гироскопов и термодатчиков, что будет использовано при разработке программного модуля, реализующего компенсацию температурной погрешности выходного сигнала гироскопов. Помимо этого, будут проработаны и предложены варианты термоизоляции датчиков, позволяющие уменьшить время переходных процессов и снизить перерегулирование.

Кроме того, в случае предъявления повышенных требований точности БИНС, возможно объединение ее со спутниковой системой навигации, что позволит исключить эффект накапливания ошибок инерциальной системы в целом.

Литература

1. Кузовков Н.Т., Салычев О.С. Инерциальная навигация и оптимальная фильтрация. – М.: Машиностроение, 1982. – 216 с., ил.

2. Галкин В.И. Перспективные гироскопы летательных аппаратов и их производство. – М.: МАТИ, 2005. – 151 с.

3. Печинкин А.В., Тескин О.И., Цветкова Г.М. и др. Теория вероятностей. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 456 с.

4. Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология научного исследования. – М.: Либроком. – 280 с.

5. Андреев К.А., Камышная Э.Н., Лавров А.В. и др. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПОНОВКИ БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ ПО ТЕПЛОВОМУ КРИТЕРИЮ // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 6 (18). С. 51.

6. Антохин А.И., Власов А.И., Косолапов И.А. КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ НА БАЗЕ МЭМС ГИРОСКОПА // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. № 10. С. 51.

7. Мысловский Э.В. и др. КРАТКИЙ ОБЗОР ПОПУЛЯРНЫХ СЕМЕЙСТВ СОВРЕМЕННЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ // Электронные компоненты. 2002. № 5. С. 47-50.

АВТОНОМНЫЙ РОБОТ-ИССЛЕДОВАТЕЛЬ С МЕХАНИЗМОМ ЗАЩИТЫ ОТ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ ЛУЧЕЙ

Лапшинов С.А.
Научный руководитель: Юдин А.В.
ГБПОУ «Воробьёвы горы», Центр Технического Образования, Москва, Россия.
НИТУ МИСиС, Учебно-производственный центр “ARTCAD”, Москва, Россия.

AUTONOMOUS ROVER ROBOT WITH MECHANISM FOR PROTECTION FROM ULTRAVIOLET RAYS

Lapshinov S.A.
Supervisor: Yudin A.V.
State budget vocational and educational institution "Vorobyovi Gori", Centre of Technical Education, Moscow, Russia.
NUST MISiS, Training and production center “ARTCAD”, Moscow, Russia.

Аннотация
В данной статье описывается разработка автономного робота для соревнований EurobotJunior 2016. В статье приводится описание задач для мобильного робота, структура робота и реализованные механизмы.

Abstract
This article describes the development of an autonomous robot for the Eurobot Junior 2016 contest. The article describes the tasks for the mobile robot, the robot structure and mechanisms implemented.

Введение

Робототехнические соревнования Евробот ставят перед мобильными роботами задачи, актуальность которых во многом определяется возрастающей популярностью робототехники и мехатроники. Эти области технического знания объединяют различные технические дисциплины, давая возможность научиться на практике всему, что необходимо знать грамотному инженеру.

Каждодневная практика подтверждает, что знания и устройства, полученные в ходе подготовки к соревнованиям могут быть полезны в прикладных проектах. Наиболее простым примером такого рода – узлы современного автомобиля, который с каждым днем становится все более интеллектуальным и автономным. Основой этому прорыву служит сеть микроконтроллеров, датчиков и исполнительных механизмов, которые выполняют рутинные функции по проверке всех агрегатов автомобиля, защите водителя и других участников движения во время движения и делают передвижение более удобным для человека.

Автор рассматривает данный проект как прототип, который может найти со временем свое применение в обыденной жизни каждого человека. При этом важно, что рассматриваемые игровые механизмы, несмотря на кажущийся детский контекст соревнований, обладают всеми качествами законченного устройства, а настоящей ценностью обладает технология, которую автор создает и проверяет во время разработки.

Автономные роботы обычно снабжаются множеством датчиков, которые иногда могут неправильно работать из-за воздействий окружающей среды. Например, из-за прямых солнечных лучей некоторые датчики перестают правильно функционировать, с целью защиты от подобных воздействий на роботе предлагается разместить автоматически открываемый зонтик.

Цель проекта – разработать автономного робота, управляемого самодельным контроллером и выполняющего ряд практических заданий, оговоренных специальными правилами для соревнований EurobotJunior 2016 [1].

Задачи проекта:

1. Разработать, изготовить и собрать собственный контроллер;
2. Запрограммировать контроллер;
3. Разработать, изготовить и собрать платформу и корпус робота;
4. Разработать, изготовить и собрать механизм для выполнения практического задания.

1 Описание конструкции робота

Робот передвигается с помощью специальных сервоприводов, управление происходит с помощью контроллера [2-4]. На роботе установлена кнопка аварийного выключения, а также стартовое устройство для запуска основного алгоритма работы. Для ориентации в пространстве робот использует датчики расстояния – дальномеры. Для раскрытия и закрытия зонтика используется сервомашинка. На рис. 1 представлена схема всех устройств, установленных на шасси робота.

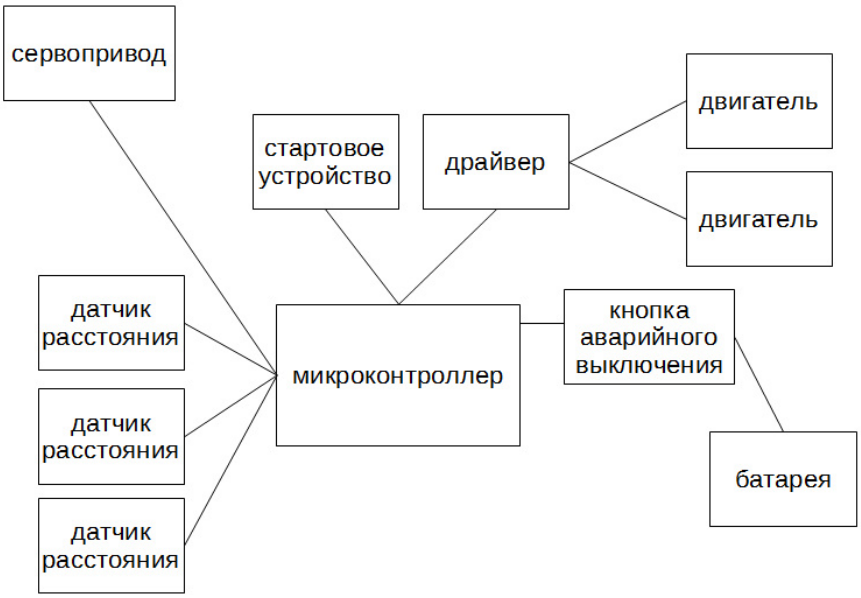


Рис. 1. Структурная схема автономного робота

На роботе все элементы расположены компактно, чтобы робот был как можно меньше. Отдельное внимание было уделено размещению масс, чтобы робот был сбалансирован и не опрокидывался во время движения. Из-за того, что на роботе установлен дифференциальный привод пришлось дополнить шасси шаровым опорным колесом. Вместе колеса и эта «скользкая» подпорка образуют необходимые 3 точки опоры. На рис.2 можно увидеть в масштабе как должен выглядеть описываемый робот.

Рис. 2. Схема автономного робота

2 Описание поведения робота

Перед стартом робота помещают на специально подготовленное игровое поле. После сигнала о начале матча оператор запускает стартовый механизм. Робот в свою очередь начинает передвигаться по полю и выполнять задания. В конце матча робот раскрывает зонтик. Программа завершена. На рис.3 можно увидеть типичную для большинства подобных соревновательных роботов машину состояний.

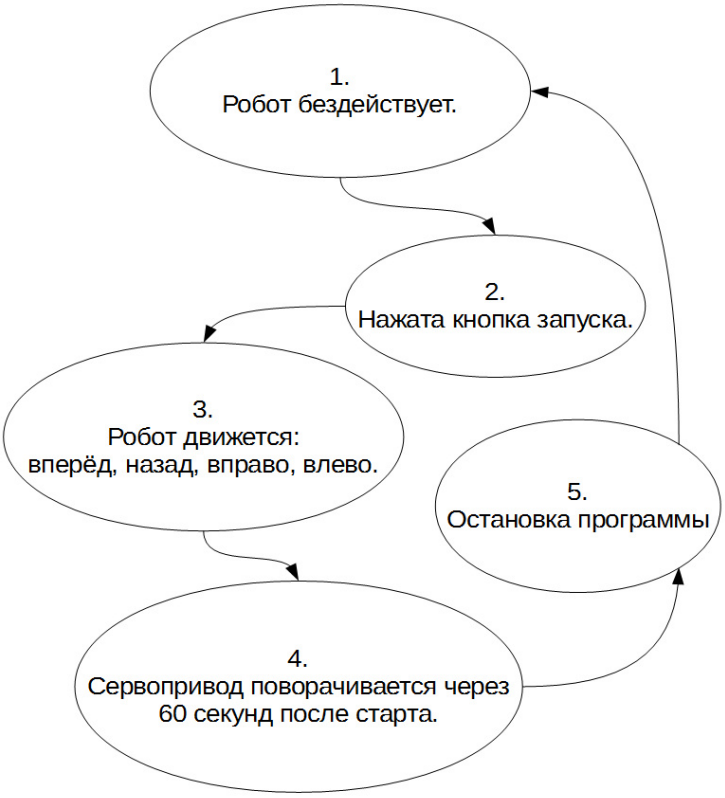


Рис. 3. Машина состояний мобильного робота

На соревнованиях робот после старта должен выполнить несколько заданий. В данном проекте такими заданиями являются: «флажки» и «зонтик». На рис. 4 показан общий вид поля, по которому передвигается робот. На поле помимо указанных выше имеются ряд других заданий и противник в виде мобильного робота, выполняющего те же задания.

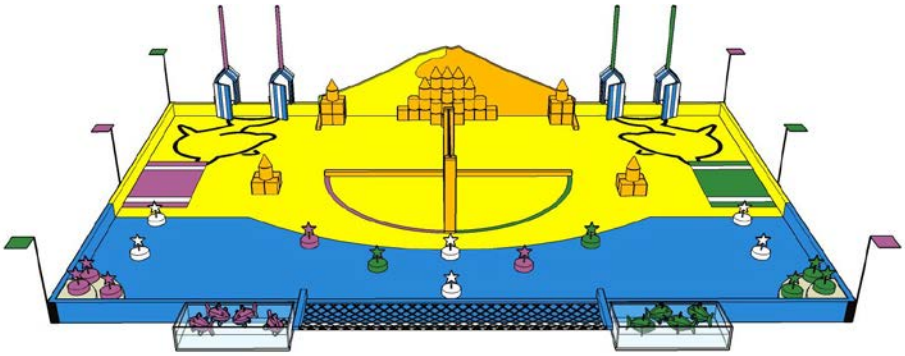


Рис. 4. Поле для соревнований

Задание «флажки» заключается в том, что необходимо пользуясь внешними ориентирами (черной линией или бортами поля) добраться до нужных игровых элементов – дверей. После этого необходимо плотно закрыть двери (рис.5).

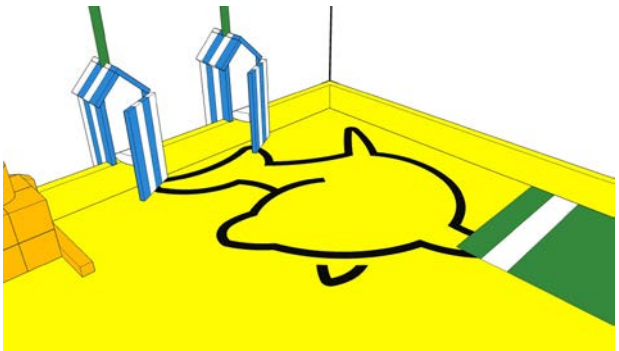


Рис. 5 Задание «флажки»

Задание «зонтик» предполагает создание механизма захвата-зонта [6-9], который по сигналу управления будет открывать или закрываться.

3 Изготовление автоматически раскрываемого зонта

Для робота было сделано много версий зонтика. В результате тестирования был подобран оптимальный вариант (рис.6). Зонт раскрывается с помощью пружины. Спицы зонтика пружина тянет вверх и зонт открывается. Раскрытие зонта блокирует сервопривод.

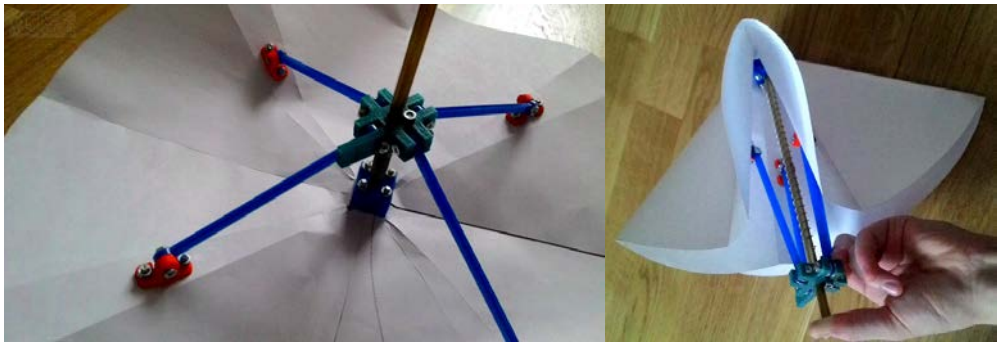


Рис. 6. Зонтик для соревнований

4 Изготовление робота

Для моделирования в процессе разработки робота использовались такие САПР программы как: SolidWorks, Solvespace, EagleCAD. Для изготовления деталей использовался станок лазерной резки, прецизионный фрезерный станок и 3D принтер [9-11]. В результате работы был разработан робот, который показан на рис. 7.

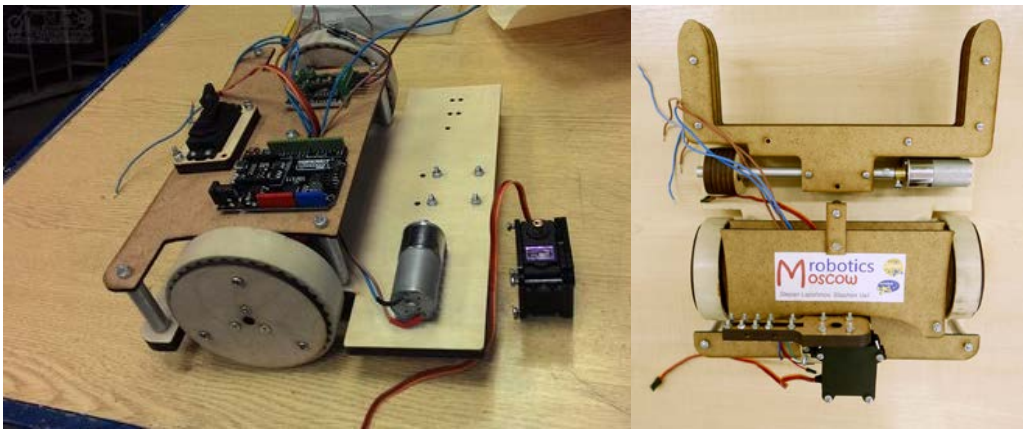


Рис. 7. Робот

Заключение

Работа над данным проектом показала, что умение использовать современное оборудовании является неотъемлемой частью инженерной практики. Не все этапы разработки удалось отразить в данной статье, в том числе и вследствие того, что большая часть работы находится на момент написания статьи в стадии разработки и не закончена. По завершении проекта автор планирует дополнить данное описание в очередной статье.

Литература

1. Международные молодежные соревнования робототехнических команд. Электронный ресурс. Режим доступа: http://eurobot-russia.org – Проверено 10.02.2016.
2. Говердовский А.Д. Автоматическое управление балансирующим роботом // Сборник научных трудов. 15-ая молодежная научно- техническая конференция "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2013". – М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 24-25 апреля 2013 г. – с.259-265.
3. Правила международных соревнований мобильных роботов Евробот 2016. Электронный ресурс. Режим доступа:http://eurobot-russia.org/main/media/E2016_rules_RU_betta_562438010ea7f.pdf – Проверено 10.02.2016.
4. Алексеев Д.А. Телеуправляемый мобильный робот для ряда практических задач // Сборник научных трудов. 17-ая молодежная научно- техническая конференция "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2015". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 22-23 апреля 2015 г. – с.221-229.
5. Чистяков М.Г., Юдин А.В. Расчет траектории движения мобильного робота в частной задаче перемещения объектов // Сборник научных трудов. 13-ая молодежная научно-техническая конференция "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2011". – М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 27-28 апреля 2011 г. – с.311-314.
6. Иванов Ю.В. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ ЗАХВАТА ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ: Учебное пособие - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.
7. Иванов Ю.В. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОЛОВОК МОНТАЖА ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ: Учебное пособие - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.
8. Иванов Ю.В. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ: Учебное пособие - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.
9. Арабов Д. И., Власов А. И., Гриднев В.Н., Григорьев П. В. КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВОГО ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА (FAB LAB) ДЛЯ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. №5.
10. Арабов Д.И., Вирясова А.Ю. , Гриднев В.Н. КОМПЛЕКСНОЕ МАКЕТИРОВАНИЕ УЗЛОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА (FAB-LAB) В УСЛОВИЯХ СКВОЗНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2016. Т. 1.
11. Курносенко А.Е., Соловьев В.А., Арабов Д.И. ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СОВМЕСТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ И МЕХАНИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ ИЗДЕЛИЯ В САПР SOLID EDGE/NX // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2014. № 3 (155). С. 85-89.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ МАГНЕТРОНА НМСА-52 С ЖИДКИМ КАТОДОМ

Макарова М.В., Васильев Д.Д.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Моисеев К.М.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра МТ11, Москва, Россия

SIMULATION OF THE MAGNETIC SYSTEM OF THE MAGNETRON NMSA-52 WITH LIQUID TARGET

Makarova M.V., Vasilev D.D.
Supervisor: PhD., docent Moiseev K.M.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В работе проведено моделирование магнитной системы магнетрона НМСА-52 с различными ориентациями полярностей магнитов. Показаны результаты сравнения данных при моделировании с экспериментальными данными.

Abstract
In this article simulation of magnetic system NMSA-52 magnetron with different magnet polarity orientations was made. The results of comparison modeling and experimental data were shown.

Введение

Одним из способов нанесения пленок является метод ионного распыления в магнетронных системах с жидкой мишенью. Этот метод отличается высокой скоростью осаждения, которая на порядок выше, чем у магнетронов с твердой мишенью, высокой энергетической эффективностью, а также высокими показателями чистоты и адгезии [1].

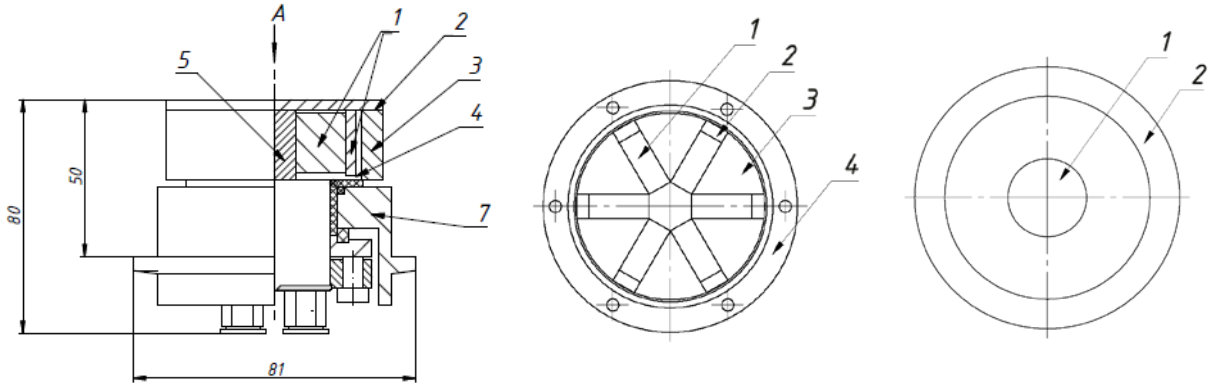
В отличие от обычного магнетрона, в жидкофазном магнетроне в качестве мишени используется металл в тигле, изолированный от системы охлаждения и нагреваемый до температуры плавления под воздействием ионов плазмы. Скорость осаждения в данном случае складывается из двух факторов: испарения и распыления. При высоких температурах процесс испарения становится доминирующим. Энергию, идущую на нагрев мишени, не нужно отводить из катодного узла системой охлаждения, что позволяет значительно увеличить мощность, вкладываемую в разряд [1].

Для реализации данного метода нанесения на вакуумной установке МВТУ-11-1 в лаборатории кафедры МТ11 «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с ОАО «НИИТМ» разработан и изготовлен жидкофазный магнетрон НМСА-52.

В процессе выведения магнетрона НМСА-52 на жидкофазный режим возникли проблемы. Выяснилось, что поле магнетрона НМСА-52, не смотря на свое превосходство по величине суммарной магнитной индукции над стандартной магнитной системой, значительно падает по мере удаления от нулевой поверхности. В связи с этим мишени, которые можно расплавить, ограничены по толщине. При толщинах мишеней свыше 2,75 мм сильно уменьшается мощность, вкладываемая в разряд. Для выявления причин, вызывающих уменьшение мощности, необходимо провести моделирование магнитной системы [2]. Целью данной работы является моделирование магнитной системы жидкофазного магнетрона НМСА-52 для выявления причин, уменьшающих мощность, вкладываемую в разряд и, как следствие, вызывающих ограничение расплавления толстых мишеней.

1 Описание оборудования

Для проведения экспериментов использовался жидкофазный магнетрон НМСА-52, представленный на рисунке 1.



1 – магниты; 2 – верхний фланец; 3 – корпус; 4 – система охлаждения; 5 – магнитопровод
а)

1 – лучевые магниты; 2 – краевые магниты; 3 – изолятор; 4 – корпус
б)

1 – стержневой магнит; 2 – кольцевой магнит
в)

Рис. 1. Жидкофазный магнетрон НМСА-52: а) чертеж магнетрона НМСА-52, б) магнитная система НМСА-52, в) стандартная магнитная ситема

Магнетрон НМСА-52 (рис.1 а) обладает нестандартной магнитной системой, изображенной на рисунке 1, б). Внешнее поле, создаваемое магнитной системой, не является однородным. Стандартная магнитная система представлена на рисунке 1, в). В центре этой системы находится магнит, нормально расположенный северным полюсом к поверхности мишени. Кольцевой магнит расположен нормально к поверхности мишени южным полюсом. Внешнее поле, создаваемое такой системой, является однородным. В статье моделирование магнитной системы жидкофазного магнетрона НМСА-50 было установлено превосходство магнитной системы НМСА-52 над стандартной в величине магнитной индукции, которую системы обеспечивают [2]. Однако эксперименты показали, что наша магнитная система не может плавить мишени, толщиной более 2,75 мм.

2 Моделирование магнитного поля магнитной системы магнетрона НМСА-52 и сравнение его с реальным полем этой магнитной системы

Измеренные нами значения магнитной индукции, на 0 и максимальной высоте представлены на рисунке 2.

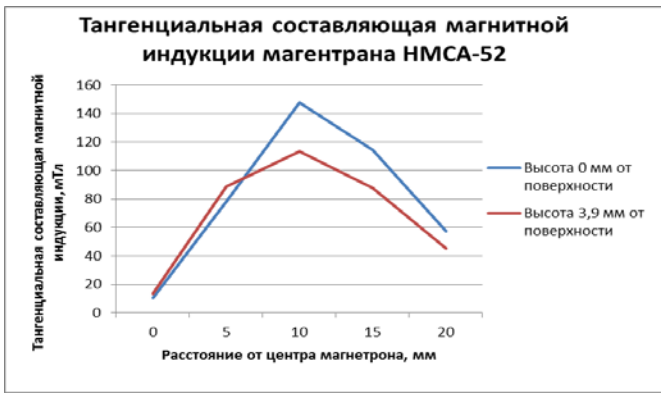
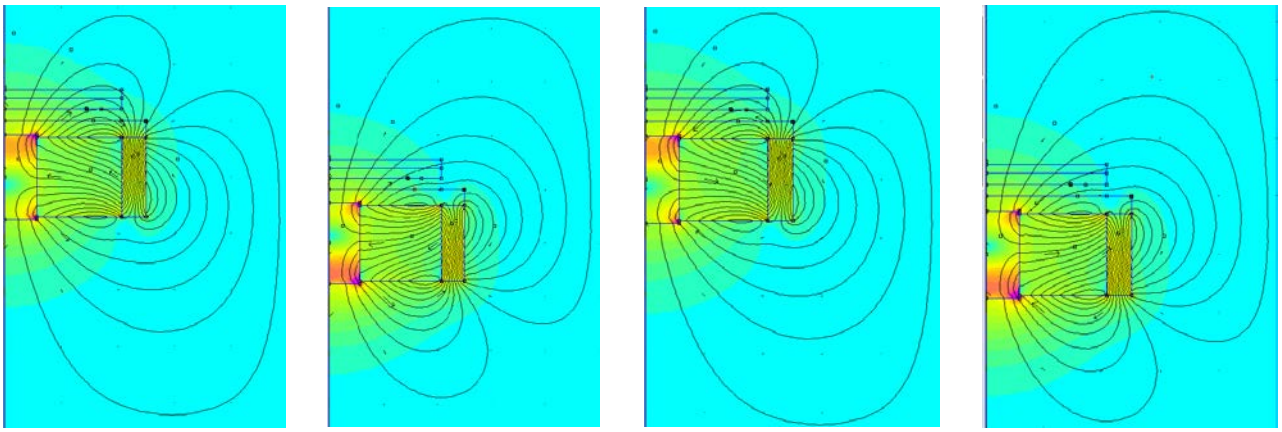


Рис. 2. Распределение магнитной индукции, измеренные значения на высоте

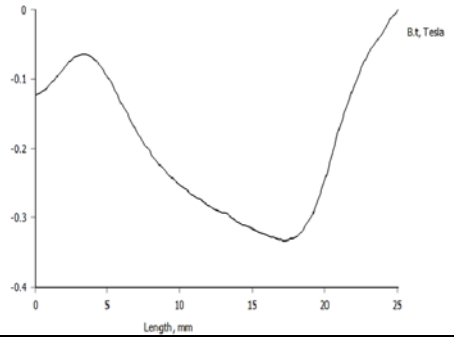
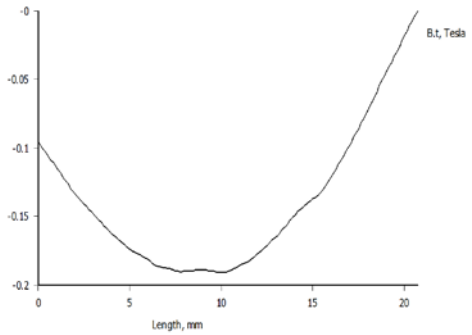
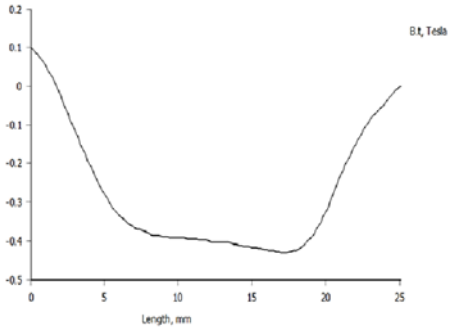
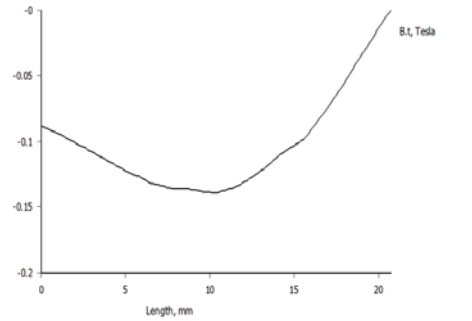
С помощью программы FEMM было проведено моделирование магнитной системы магнетрона НМСА-52, с различной ориентацией магнитов. Измерение магнитного поля проводилось с помощью портативного универсального микротесламетра ТП2-2У-03, чувствительный зонд которого, позволяет измерить только тангенциальную составляющую. Поэтому графики моделирования приведены для нее. Общий вид моделей приведен на рисунке 3. Подписи к рисунку – схема ориентации магнитов, указанная для направления внутреннего поля магнита, графики моделей приведены в таблице 1.

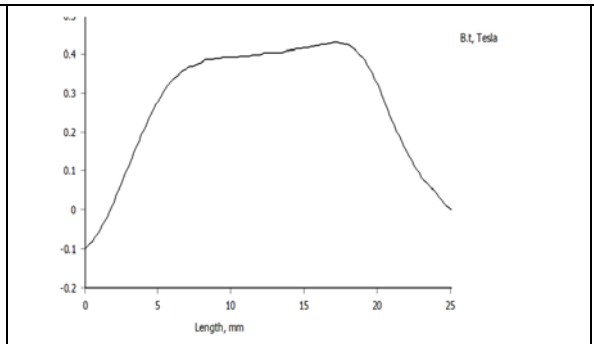
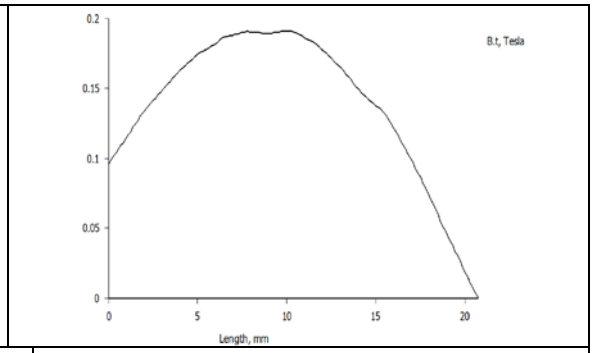
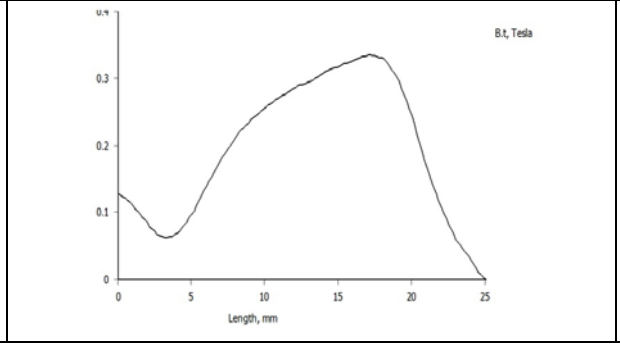
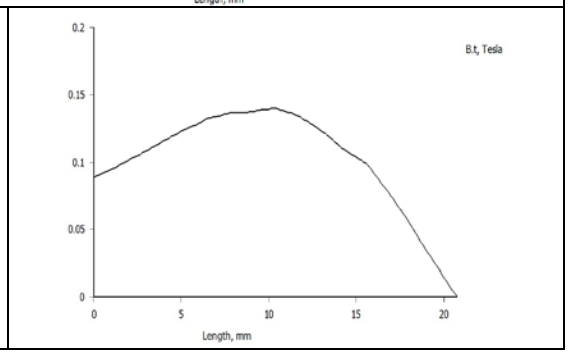


1 2 3 4

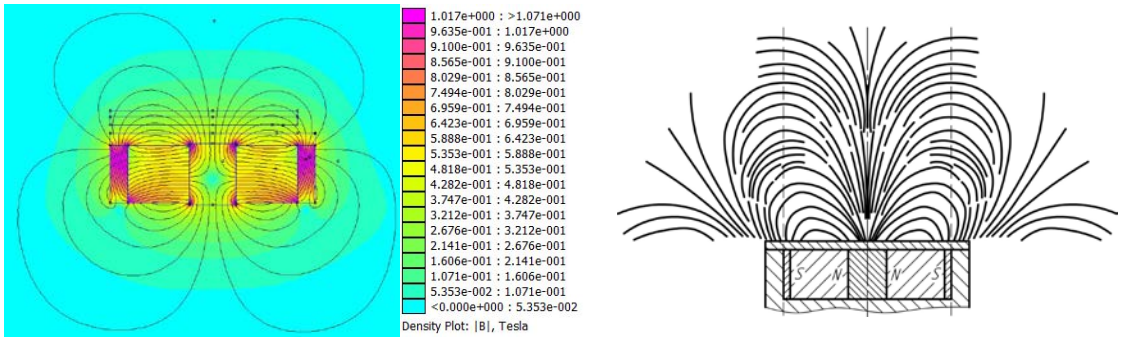
Рис. 3. Модели, общий вид. Схема ориентации магнитов (полярность лучевого магнита/ полярность краевого магнита): 1 – к центру/вниз; 2 – к центру/вверх; 3 – из центра/вверх; 4 – из центра/вниз

Таблица 1. Графики тангенциальной составляющей

Номер модели	График на высоте 0 мм	График на высоте 3,9 мм
1		
2		

3		
4		

Расположение магнитов магнетрона НМСА-52 находится под 3-им номером. Внутреннее поле лучевого магнита ориентировано от центра к краю, внутреннее поле краевого магнита ориентировано снизу – вверх. С помощью «опыта Эрстеда» было получено реальное магнитное поле магнитной системы магнетрона НМСА-52. Сравнение реального магнетрона и общей схемы модели представлено на рисунке 4.



а) б)

Рис. 4. Общий вид магнитного поля: а) – модель, б) – реальное поле

Из рисунка 4 а) видно, что силовые линии магнитного поля над магнитами расположены также, как и на модели. Силовые линии наиболее сконцентрированы ближе к краям и загибаются в нижнюю часть. Из фотографии 4 б) видно, что силовые линии на краях магнетрона расположены идентично составленной модели. Следовательно, модель адекватно описывает поведение реального поля.

Заключение

Схема выбора полярности магнитов в нашей магнитной системе сильно влияет на расположение магнитных линий и их густоту. Не смотря на то, что из 4-х схем наша имеет самое логичное расположение магнитов, и правильно ориентирует внешнее магнитное поле, эксперименты показали, что она не является оптимальной для жидкофазного магнетрона. Вероятными причинами являются неоднородность поля, а также скопление силовых линий магнитного поля под нижней поверхностью магнетрона, а не над ним. В связи с этим по мере удаления от поверхности магнетрона силовых линий становится слишком мало, чтобы обеспечить необходимую степень ионизации для стабильного горения разряда.

Литература

1. Исследование энергопотребления диодных распылительных систем с твердым и жидким катодом / Войнов Р.Ю., Третьяков Р.С., Талаева Ю.С. – Томский политехнический университет, 2009.
2. Макарова М. В., Бабурин А. С. Измерение и моделирование магнитного поля магнитной системы жидкофазного магнетрона НМСА-50. [Электронный ресурс] // Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции, 7 – 10 апреля, 2015, Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана. – М.: ООО «КванторФорм», 2015.– № гос. регистрации 0321501427.– URL: studvesna.ru?go=articles&id=1237 (дата обращения: 26.11.2015).– Загл. с экрана.

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МЕДНОГО ПОКРЫТИЯ НА ПЛЕНКАХ ЛАВСАНА ДЛЯ ГИБКИХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Малеванная Е.И., Васильев Д.Д.
Научный руководитель: к.т.н., доцент, Моисеев К.М.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра МТ-11, Москва, Россия

COPPER COATING DEPOSITION ON PET FILMS FOR FLEXIBLE PRINTING CIRCUIT BOARDS

Malevannaya E.I., Vasiliev D.D
Supervisor: PhD., docent, Moiseev K.M
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье рассматривается процесс формирования медного покрытия на гибком лавсановом основании и описывается поэтапная отработка технологии получения покрытия. Исследована зависимость распределения температуры нагрева образца от мощности и расстояния до магнетрона. На основе данных по температурным измерениям и по скоростям осаждения построена модель, позволяющая оптимизировать процесс нанесения медного слоя.

Abstract
In this article technology of copper coating deposition on flexible PET substrate is considered and its step-by-step technological process is described. The dependence of the sample heating temperature distribution from power and distance between sample and magnetron is explored. Based on temperature and deposition rate measurements the model which allows optimize deposition process is constructed.

Введение

Основным структурным элементом гибких печатных плат, получивших широкое распространение в современной электронике, является медное покрытие на гибком основании, служащее для дальнейшего формирования топологии [1]. В качестве основания используются пленки лавсана, достоинствами которого являются высокая химическая стойкость, низкое влагопоглощение и низкая стоимость [2]. Медное покрытие может накатываться на основание или осаждаться гальваническим методом [3]. Именно электроосажденное покрытие получило более широкое применение в отличие от катанной, которое используется в платах, рассчитанных на динамическую нагрузку [3]. Для электроосаждения слоя меди на лавсан необходимо иметь на поверхности образца слой меди в несколько сотен нанометров. Одним из способов формирования начального тонкого слоя меди является магнетронное распыление, которое позволяет получать пленки высокого качества, благодаря стабильности процесса [4]. Полностью же сформировать медное покрытие методом магнетронного распыления не представляется возможным из-за низких по сравнению с гальваникой скоростей осаждения, поэтому процесс получения пленок большой толщины (до 35 мкм) будет экономически невыгодным. Эту проблему можно решить, изначально сформировав тонкий слой медного покрытия методом магнетронного распыления, а затем методом электроосаждения нарастить необходимую толщину. Таким образом, вопрос формирования начального слоя меди приемлемого качества на гибком лавсановом основании для дальнейшей возможности нарастить это покрытие является актуальной задачей. Целью работы является отработка технологии получения медного покрытия на пленках лавсана методом магнетронного распыления для дальнейшего наращивания толщины слоя посредством электроосаждения, а также моделирование процесса нанесения для его оптимизации. Перед началом экспериментов были предъявлены требования к образцам: медь должна иметь высокую адгезию к лавсановой пленке, а также

сам лавсан, восприимчивый к высоким температурам, не должен быть поврежден в процессе магнетронного распыления.

1 Отработка технологии получения медного покрытия на лавсановом основании

Медь наносилась на пленки лавсана с алюминиевым подслоем и без него, а также было проверено влияние способа подготовки подложек к процессу нанесения (чистка образцов в изопропиловом спирте или использование лавсана без очистки). Слой меди формировался на мощности 300 Вт на расстоянии 100 мм от поверхности мишени. Эксперимент показал, что пленки были перегреты из-за высокой мощности распыления и отсутствия системы охлаждения у подложкодержателя, вследствие чего деформировались. Измерение температуры не проводилиось, поскольку не имелось технической возможности его реализовать. Адгезия медной пленки, нанесенной на лавсан без подслоя, была выше, чем у меди, нанесенной на лавсановую пленку с алюминиевым слоем. При этом на всех образцах независимо от способа подготовки лавсана к процессу нанесения адгезия меди была одинаково высокой: при оценке адгезии методом скрайбирования пленка не отходила и не повреждалась. Далее лавсановая пленка перед нанесением покрытия не чистилась.

Следующий этап был направлен на исследование влияния мощности на источнике в процессе нанесения покрытий на их качество. Необходимо снизить тепловое воздействие на лавсан, сохранив при этом высокую скорость осаждения. Было проведено нанесение меди при нескольких значениях мощности: 100, 150 и 200 Вт, в ВЧ-режиме (при этом режиме скорость составляет 80% скорости на постоянном токе), на расстоянии 100 мм до магнетрона. Было выявлено, что при 200 и 150 Вт пленка вследствие теплового воздействия сильно деформировалась, но меньше, чем в предыдущем опыте. При 100 Вт присутствует некоторое коробление пленки лавсана, что неприемлемо. Адгезия меди к лавсану по-прежнему высокая. Из этого эксперимента следует, что снижение мощности уменьшило тепловое воздействие на пленки, однако дальнейшее уменьшение мощности из-за снижения скорости осаждения не представляется возможным, поэтому необходимо увеличивать расстояние до магнетрона.

На следующем этапе было определено оптимальное расстояние до магнетрона при нанесении меди, при котором удалось получить недефлормированное покрытие. Три образца были закреплены на разном расстоянии: 120, 135 и 160 мм. Нанесение проходило при минимальном значении мощности − 100 Вт. Эксперимент показал, что на расстояниях до магнетрона 120 мм и 135 мм пленка из-за теплового воздействия деформировалась. На расстоянии 160 мм получилась ровная пленка без коробления, однако адгезия полученного покрытия оказалась невысокой: пленка начала отходить при царапании. Вероятно, повышенная температура вызвала изменения в пленке, однако сам лавсан был деформирован. Поэтому для получения медного покрытия требуемого качества на лавсане требуется использовать адгезионное покрытие.

Было проведено формирование медного покрытия на лавсане с уже нанесенным покрытием нихрома. Образец был закреплен на расстоянии 135 мм от магнетрона, а распыление меди проводилось на постоянном токе при мощности на источнике 100 Вт. В результате проведенного опыта было получено медное покрытие, которое не держалось на поверхности нихрома: покрытие нихрома из-за взаимодействия с атмосферой не проявляет свойств адгезионного покрытия. Нанесение адгезионного покрытия должно производиться в одном вакуумном цикле вместе с медным покрытием.

На пленку лавсана в одном вакуумном цикле было нанесено покрытие хрома, а затем медь. Пленка была предварительно очищена по отработанному алгоритму для очистки подложек [5]. Хром наносился в импульсном режиме магнетроном МАК 2" на мощности 120 Вт, медь − на постоянном токе магнетроном диаметром 100 мм при мощности 100 Вт. Из-за перехода в режим нанесения на постоянном токе лавсан был закреплен на увеличенном расстоянии до магнетрона с медью – 160 мм, расстояние до хрома – 265 мм. Этот

эксперимент показал, что покрытие меди держится на хроме, однако при механическом воздействии острым предметом повреждается. На этом образце был проведен процесс гальванического наращивания меди и литография, которые покрытие выдержало. Это показало пригодность медного покрытия, полученного таким способом.

2 Построение модели, связывающей температуру и скорость осаждения с мощностью и расстоянием до источника

Позже на установке была реализована возможность измерения температуры в процессе формирования покрытия методом магнетронного распыления. Показания снимались с помощью термопары, подсоединенной к датчику температуры (рис. 1)

Таблица 1. Измерение температуры при различных режимах в °С

Мощность, Вт \ Расстояние, мм	100	120	135	160
100	146	140	100	70
150	200	194	154	124
200	240	234	194	164
300	280	274	234	204

Для лавсановых пленок существует несколько критических температурных точек [6]. Среди них особенно важны: температура плавления $T_{плав}$=260°С, температура размягчения $T_{разм}$=245°С и температура стеклования $T_{стек}$=70°С. Интервалом рабочих температур для лавсана является диапазон от 60 до 170°С. Данные по температуре для лавсана накладывают ограничения на выбор параметров процесса: либо температура не должна превышать 70°С, либо более высокое тепловое воздействие (до 170°С) не должно быть длительным и может ограничиваться лишь нагревом до этой температуры. Время этого нагрева, как и максимальная температура для каждого режима, зависит от мощности и расстояния. Из этого следует, что время нагрева необходимо уменьшать. В диапазоне от 70 до 170°С пленка уже не находится в стабильном состоянии, и из-за неравномерности нагрева и неравномерности толщины слоя меди деформируется. Поверхность распределения температуры в исследуемой области в зависимости от мощности источника и расстояния до магнетрона (рис. 1).

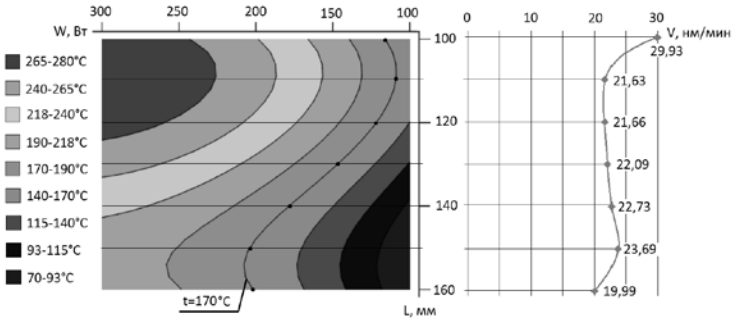


Рис. 1. Распределение температуры в зависимости от мощности источника и расстояния до поверхности магнетрона и связь температуры со скоростью осаждения

При формировании покрытия также необходимо сохранять высокую скорость осаждения. Чтобы знать, в какую сторону выбранной области нужно двигаться для определения оптимального режима, нужно знать распределение скорости осаждения в зависимости от мощности при распылении и расстояния до магнетрона. Из опыта работы на установке имеются данные по скорости осаждения меди на постоянном токе при различных значениях мощности и расстояния от поверхности магнетрона. Эти данные позволили построить модель, описывающую связь скорости осаждения покрытия при граничном значении температуры − 170°С − с изменением мощности и расстояния до источника

(рис. 1). На графике скорости имеется практически линейный участок, экстремума скорости не наблюдается, но чем ближе к магнетрону, тем выше скорость. Характер изменения скорости вблизи магнетрона может измениться, поэтому экстраполировать нельзя.

Описанная модель строилась без учета неравномерности осаждения покрытия и, как следствие, распределения теплового воздействия, однако она позволяет для выбранной температуры подобрать режим с наибольшей скоростью осаждения.

Заключение

По итогам работы сделаны следующие выводы:

Поиск оптимального режима нанесения меди на лавсановую пленку привел к выбору методики нанесения медного слоя с адгезионным покрытием хрома в едином вакуумном цикле. Качественное покрытие, которое выдерживает операцию гальванического наращивания покрытия, получается при нанесении меди на минимальном значении мощности − 100 Вт, и максимальном расстоянии до магнетрона − 160 мм.

Измерение температуры при выбранном режиме показало, что образец в процессе разогревается до 70°С, что является для лавсана переходным значением между стабильным температурным режимом и допустимым состоянием размягчения материала.

Найдена зависимость температуры и скорости от мощности источника и расстояния до магнетрона, которая позволяет найти режим нанесения с максимальной скоростью осаждения меди V_{oc}=29,93 нм/мин при максимальной допустимой температуре (170°С): мощность 121 Вт, расстояние до магнетрона 100 мм. При этом не учитывалась неравномерность покрытия, т.к. требования к ней не ставились.

Таким образом, была отработана технология получения медного покрытия на гибком основании методом магнетронного распыления с подслоем хрома, нанесенным в том же вакуумной цикле. Полученное покрытие имеет высокую адгезию для дальнейшего наращивания толщины медного слоя гальваникой, что позволяет использовать эту методику для изготовления гибких печатных плат.

Измерение температуры позволило получить модель, описывающую зависимость температуры от мощности источника и расстояния до магнетрона и связь этой зависимости со скоростью осаждения материала. Эта модель может послужить для выбора параметров процесса нанесения меди методом магнетронного распыления для соблюдения определенного температурного диапазона.

Литература

1. Гибкие платы. Преимущества и применение / А.М. Медведев [и др.] // Компоненты и технологии. — 2007.— №9.— С. 202-208.
2. Технологии производства гибких печатных плат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://rezonit.ru/support/technology/flex/. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 15.01.2016).
3. Справочник инженера-разработчика. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://rezonit.ru/upload/content/files/Engineer_manual.pdf.
4. Духопельников, Д.В. Магнетронные распылительные системы с электромагнитами [Текст]: дис. на соиск. ст. канд. тех. наук: 01.04.14: защищена 30.05.2007 / Духопельников Дмитрий Владимирович. − М., 2007. − 202 с.
5. Д.Д. Васильев, Ю.С. Макарова, К.М. Моисеев. Исследование влияния различных растворов при жидкостной очистке на чистоту подложки и адгезионную прочность покрытий // Восьмая Всероссийская конференция «Будущее машиностроения России»: сборник докладов – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – С. 381-385.
6. Химическая энциклопедия: в 5 т. 2-е изд., перераб. и доп. Т. 1: А — Дарзана / И.Л. Кнунянц. − М.: Советская энциклопедия, 1988. − 623 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ИМПЕДАНСА В ОБЛАСТИ ВИХРЕТОКОВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Мефодичев П.Н., Мартьянов Е.В.
Научный руководитель: д.т.н. Ефимов А.Г.
ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», Отдел НИО-12, Москва, Россия

APPLICATION OF DIGITAL METER IMPEDANCE IN EDDY CURRENT NDT

Mefodichev P.N., Martyanov E.V.
Supervisor: Sc.D. Efimov A.G.
RII MSIA “Spectrum”, Moscow, Russia

Аннотация
В статье представлен новый подход к регистрации дефектов в металлических изделиях вихретоковым методом посредством применения цифровых измерителей импеданса. Приведена суть вихретокового метода, рассмотрены достоинства и недостатки этого метода неразрушающего контроля. Рассмотрены основные методы измерения вносимого сопротивления, реализованные в современных дефектоскопах, а также обусловлена возможность применения цифровых измерителей импеданса в дефектоскопах.

Abstract
The article presents a new approach to the registration of defects in the metal products eddy current method through the use of digital impedance meters. Shows are the eddy current method, consider the advantages and disadvantages of this method of nondestructive testing. The basic methods of measuring insertion resistance implemented in the current flaw detectors, as well as due to the possibility of using digital meters impedance flaw detectors

Введение

На современном этапе развития науки и техники нельзя недооценивать роль металлоизделий, которые являются основными конструктивными элементами для большинства видов продукции и широко применяются в различных отраслях промышленности, таких как энергетика, машиностроение и многие другие. Для экономического роста необходимо обеспечить выпуск высококачественной продукции. Разработка и внедрение современных средств неразрушающего контроля (НК) металлоизделий с высокими показателями быстродействия и достоверности обнаружения дефектов [1] необходимо, чтобы обеспечить мировой уровень качества продукции.

Среди различных видов НК, при контроле металлоизделий, одно из ведущих мест занимает вихретоковый метод неразрушающего контроля (ВК) [2,3]. При осуществлении ВК прибор сравнивает регистрируемые характеристики с характеристиками, записанными в энергонезависимой памяти прибора, и по итогам сравнения выводит результат контроля. На текущий момент методами ВК контролировать изделия с изоляционными покрытиями переменной толщины можно приборами, настроенными на работу с большим зазором, при этом расстояние между металлической поверхностью и вихретоковым преобразователем (ВТП) прибора должно оставаться постоянным. Также возможно контролировать металлические изделия с диэлектрическими покрытиями переменной толщины с помощью сложных и дорогих двухпараметровых приборов. Решить проблему мобильного контроля изделий с изоляционными покрытиями переменной толщины возможно посредством применения цифровых измерителей импеданса.

Вихретоковый метод неразрушающего контроля

Вихретоковый метод НК основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых

возбуждающей катушкой вихретокового преобразователя (ВТП) в электропроводящем объекте контроля (ОК).

Достоинством вихретокового контроля является то, что его можно проводить при отсутствии контакта между ВТП и ОК, поэтому его часто называют бесконтактным. Получение первичной информации в виде электрических сигналов, отсутствие контакта и высокая производительность определяют широкие возможности автоматизации вихретокового контроля [4]. Так же преимуществом этого метода является то, что на сигналы ВТП практически не влияют влажность, давление и загрязнённость газовой среды, радиоактивные излучения, загрязнения поверхности ОК непроводящими веществами. [5]

Принцип действия ВК можно пояснить с помощью рисунка 1. На рисунке показан генератор переменного тока и возбуждающая обмотка ВТП.

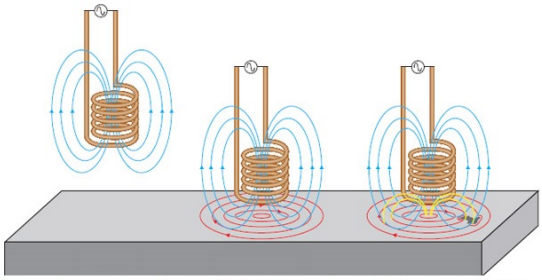


Рис. 1. Схема принципа действия дефектоскопа с накладным ВТП

Взаимодействие возбуждающей обмотки ВТП с ОК можно представить схемой воздушного трансформатора, представленной на рисунке 2 (а), параметры цепи вторичной обмотки $z_{вт}$ которого определяются эквивалентным контуром вихревых токов в ОК.

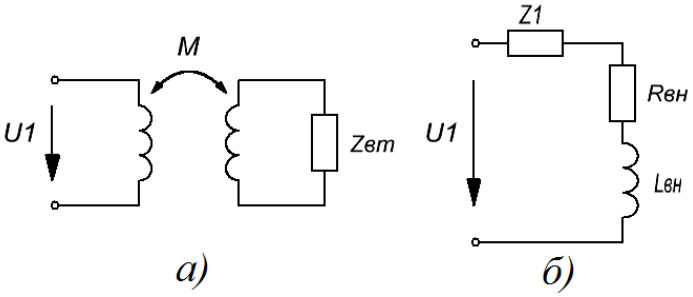


Рис. 2. Воздушный трансформатор (а) и его схема замещения (б)

Как известно, воздушный трансформатор можно представить схемой замещения, представленной на рисунке 2 (б). На схеме замещения $R_{вн}$ – вносимое в катушку активное сопротивление, обусловленное потерями энергии в результате нагрева ОК вихревыми токами; $L_{вн}$ – вносимая индуктивность, обусловленная изменением потокосцепления индуктивной катушки (обмотки возбуждения ВТП) за счёт действия вихревых токов. Параметры $R_{вн}$ и $L_{вн}$ зависят от плотности и распределения вихревых токов в ОК, а, поскольку плотность и распределение вихревых токов в ОК зависят от параметров дефектов, задача вихретокового контроля сводится к определению этих самых параметров $R_{вн}$ и $L_{вн}$.

Методы измерения вносимого сопротивления

На сегодняшний день для получения сведений о параметрах дефектов в ОК приборы неразрушающего контроля регистрируют не вносимое сопротивление, а вносимое напряжение, которое снимается с сигнальных обмоток ВТП [6]. Основной метод определения параметров вносимого напряжения, который называется фазовый метод, заключается в определении фазы этого сигнала относительно сигнала, подаваемого на обмотку возбуждения. Достоинством этого метода является простота реализации. Дефектоскоп, работающий по фазовому методу, может иметь габаритные размеры от

200x100x50 мм. Основной недостаток метода – контроль одного единственного параметра, поэтому прибор перед началом контроля должен быть компенсирован на бездефектном участке металла. Такой прибор не способен контролировать металлические изделия с изоляционными покрытиями переменной толщины.

Ещё один метод, который часто применяется в вихретоковых дефектоскопах, называется амплитудно-фазовый метод. Из названия понятно, что в данном методе осуществляется контроль двух параметров вносимого напряжения – амплитуды и фазы. Достоинством данного метода является возможность контроля таким дефектоскопом металлических изделий с изоляционными покрытиями переменной толщины. Основной недостаток приборов, работающих по этому методу – сложность реализации и, как следствие, большие габаритные размеры 500x300x200 мм. Такой прибор не получится использовать в качестве переносного дефектоскопа.

Применив цифровой измеритель импеданса для определения вносимого сопротивления можно определить параметры вносимого сопротивления, используя всего навсего одну микросхему. Так как измеритель импеданса является цифровым, определить амплитуду и фазу вносимого напряжения возможно с помощью микроконтроллера. Таким образом, применение данного метода измерения вносимого сопротивления позволит упростить аппаратную реализацию прибора для вихретокового неразрушающего контроля. К тому же, поскольку, зная комплексное вносимое сопротивление, возможно определить и амплитуду, и фазу вносимого напряжения, мы получаем основное преимущество амплитудно-фазового метода – возможность контроля металлоизделий с изоляционными покрытиями переменной толщины. Таким образом, используя цифровой измеритель импеданса, можно создать дефектоскоп, имеющий минимальные габариты, и способный автоматически компенсировать воздействие изменение зазора между изоляционным окрытием и металлом.

Микросхема AD5933

Примером такого цифрового измерителя импеданса является микросхема производства компании «Analog Devices» AD5933. Данная микросхема обладает следующими техническими характеристиками:

– Диапазон измерения сопротивления от 1 кОм до 10 Мом;
– Возможность программирования амплитуды сигнала возбуждения от 2.7 В до 5.5 В;
– Возможность программирования частоты сигнала возбуждения до 100 кГц;
– Встроенный датчик температуры с точностью измерения ±2 °С;
– Точность определения фазы 0.5%;
– Цифровой интерфейс взаимодействия I2C;
– Диапазон рабочих температур от -40 °С до +125 °С;
– Микросхема размещается в 16-выводном SSOP корпусе.

Основным направлением применения данного цифрового измерителя импеданса является биоимпедансометрия и электрохимический анализ. Однако, как показывает практика работы с современными дефектоскопами, диапазон вносимого сопротивления полностью перекрывается диапазоном измерения данного датчика. Из этого можно сделать вывод, что применение микросхемы AD5933 возможно для вихретокового метода неразрушающего контроля.

Встроенный датчик температуры можно использовать для осуществления термокомпенсации измеряемого сопротивления с целью повышения точности измерения. Поскольку микросхема измерителя импеданса имеет цифровой интерфейс I2C, передача результатов измерения сопротивления на микроконтроллер не представляет из себя трудной задачи.

Заключение

Были рассмотрены физические принципы действия вихретокового метода неразрушающего контроля. Из рассмотренного сделан вывод, что для регистрации параметров дефектов достаточно определить вносимое сопротивление. Рассмотрены два основных метода регистрации параметров дефектов – фазовый и амплитудно-фазовый, которые применяются в современных вихретоковых дефектоскопах. Сделан вывод о несовершенстве этих методов. Фазовый метод не позволяет контролировать металлические изделия с изоляционным покрытием переменной толщины, а амплитудно-фазовый метод слишком сложный и финансово затратный. Предложена и обоснована идея возможности использования цифровых измерителей импеданса для определения параметров дефектов. Рассмотрены основные параметры микросхемы цифрового измерителя импеданса AD5933. Сделан вывод о возможности применения данной микросхемы в вихретоковом методе НК.

Литература

1. Ефимов А.Г. Сравнительный анализ методов цифровой фильтрации / А.Г. Ефимов // Контроль. Диагностика. – 2009. – №10. – С.67-68.
2. ВИХРЕТОКОВЫЙ КОНТРОЛЬ. Федосенко Ю.К., Шкатов П.Н., Ефимов А.Г., учебное пособие для подготовки специалистов по неразрушающему контролю и технической диагностике / Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике. Москва, 2011. Сер. Диагностика безопасности
3. NONDESTRUCTIVE TESTING. Klyuev V.V., Muzhitskiy V.F., Gorkunov E.S., Scherbinin V.E., Fedosenko Yu.K., Gerasimov V.G., Pokrovskiy A.D., et al. Handbook: In 8 volumes / Edited by V.V. Klyuev. V. 1: in 3 books. Москва, 2010. Том 1 Eddy-current testing
4. Мартьянов Е.В. Модернизация вихретоковых средств неразрушающего контроля трубного и сортового металлопроката / Е.В. Мартьянов, А.Е. Шубочкин // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2014. – № 12. – С.17-20.
5. Ефимов А.Г. Распределение сигнала накладного вихретокового преобразователя над стальным изделием с внутренним дефектом сплошности в приложенном магнитном поле / А.Г. Ефимов // Контроль. Диагностика. – 2012. – № 3. – С.17-24.
6. Шубочкин А.Е. Развитие и современное состояние вихретокового метода неразрушающего контроля / А.Е. Шубочкин – М.: Издательский дом «Спектр» 2014. – 285 с.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРООТВЕРСТИЙ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ МЕТОДОМ МЕХАНИЧЕСКОГО СВЕРЛЕНИЯ

Антонова Д.О., Григорьев П.В., Минин Д.С., Юндин А.С.
Научные руководители: доцент, кандидат технических наук Гриднев В.Н., ведущий инженер Миронова Ж.А*
Российская федерация, Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4
* АО "Российские космические системы"

TECHNOLOGY OF CREATION MICROHOLES ON PCB USING MECHANICAL DRILLING

Antonova D.O., Grigoriev P.V., Yundin A.S., Minin D.S.
Scientific adviser: Ph.D. Gridnev V.N., Mironova Z.A.*
Moscow, Russia, Bauman MSTU
* JSC “Russian Space Systems”

Аннотация
Данная статья посвящена исследованию технологии создания микроотверстий с помощью механического сверления. В процессе исследования была осуществлена разработка тестовых образцов. Также для увеличения их адгезионных свойств был проведён трёхступенчатый процесс TOP BOND, после которого проходил процесс прессования. Сверление микроотверстий производилось на станке Posalux UltraSpeed 3600 – LZ. Предварительно был создан файл для этого оборудования с помощью ПО для подготовки к производству печатных плат CAM350. По завершению всех операций был произведён визуальный контроль качества с помощью микроскопа Carl Zeiss 426126. По итогам исследования был сделан положительный вывод о качестве создания микроотверстий методом механического сверления.

Abstract
This article investigates the technology of creating microholes by mechanical drilling. There were carried out the development of test samples during the process. Also, to increase their adhesive properties there were done three-stage process TOP BOND, which took place before the pressing process. Drilling of micro holes produced on the machine Posalux UltraSpeed 3600 – LZ. Previously the file was created for this equipment using the application of pre-production PCB CAM350. After completion of all operations was made visual quality control using microscope Carl Zeiss 426126. As the result of researching were made positive conclusion about quality of creation microholes by mechanical drilling.

Введение

В настоящее время в производстве печатных плат существует тенденция уменьшения массогабаритных размеров, так как таким образом уменьшается и сам конечный продукт, в котором используются данные печатные платы. Один из путей решения данной проблемы представляет собой уменьшение диаметров отверстий на печатной плате и увеличение их плотности расположения на ней.

Целью настоящей работы являлось исследование технологического процесса механического сверления микроотверстий.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Исследование операции сверления микроотверстий МПП;
2. Разработка и изготовление тестового образца для определения качества микроотверстий;
3. Оценка качества микроотверстий по микрошлифам.

1 Технология изготовления микроотверстий в ПП

В производстве ПП применяют следующие способы получения переходных отверстий:

1) механическое сверление (на станках с ПУ);
2) лазерное сверление (для отверстий малого диаметра, в том числе глухих);

3) фотолитография;
4) плазмохимическое травление.

Рассмотрим способ создания микроотверстий методом механического сверления поподробнее.

2 Механическое сверление

Сверление это вид механической обработки материалов резанием, при котором с помощью специального вращающегося режущего инструмента (сверла) получают отверстия различного диаметра и глубины.

Операция сверление одна из наиболее ответственных в производстве ПП, так как она обеспечивает точность совмещения токопроводящих рисунков схемы, расположенных на противоположных сторонах ДПП или разных слоях МПП [1].

В связи с этим к качеству выполнения отверстий предъявляются следующие требования:

- цилиндрические отверстия должны быть с гладкими стенками;
- отверстия должны быть без заусенцев;
- предельные отклонения центров отверстий относительно узлов координатной сетки должны составлять (±0,015) мм;
- не должны иметь место деструкция диэлектрика в отверстиях и размазывания (наволакивание) смолы по стенкам отверстий, поскольку это препятствует осаждению меди и приведет к разрыву электрической цепи;
- точность сверления отверстий должна быть достаточна для обеспечения необходимого гарантийного пояска контактных площадок.

Сложность выполнения операции сверления связана с обработкой в одном технологическом цикле различных по свойствам материалов, таких как медь, стекловолокно, смола и других, для каждого из которых требуются разные режимы обработки, и существует большое количество факторов, влияющих на качество полученных отверстий.

Важнейшими факторами, влияющими на качество сверления, являются:

- конструкция сверлильного станка;
- геометрия и материал сверла;
- точность позиционирования;
- конструкция сверлильных головок;
- способ закрепления ПП на столе сверлильного станка;
- скорость резания;
- подача осевая при сверлении и обратном ходе сверла;
- способ удаления стружки и пр.

Режимы сверления

- скорость резания V – до 180 м/мин;
- скорость вращения шпинделя n = 1000…180 000 об/мин;
- подача сверл – 0,02…0,05 мм/об.

Режимы сверления зависят от диаметра обрабатываемых отверстий, типа ПП.

Микросверла (Ø 0,1…0,5 мм) с большой длиной рабочей части (d/l = 20) для сверления глубоких отверстий изготавливают из карбидных сплавов.

К микросверлам предъявляют следующие требования:

- материал – карбидные сплавы (карбид вольфрама: вольфрам и кобальт);
- малая зернистость (0,3; 0,4; 0,5 мкм);
- высокая твёрдость по Виккерсу порядка 1650 – 1850 HV_{30};
- жесткие допуски;
- определенный процент кобальта;
- устойчивость к износу;

– высокое сопротивление поперечному разрушению порядка 3500 Н/мм^2;
– высокое качество обработки поверхности;
– усталостная прочность при изгибе порядка 600 Н/мм^2;
– рабочая часть сверла L должна быть в 1,4 раза больше толщины H, просверливаемого изделия, т. е. H = 0.7 L;
– мощная система отсоса стружки;
– измерение сверл оптическое и лазерное, но не механическое;
– использование пошаговой подачи сверла.

3 Обоснование выбора способа создания отверстий

Все приведенные выше способы подходят для создания отверстий, но чаще всего для межсоединений в печатной плате применяются переходные микроотверстия с диаметрами 0,1 мм, 0,2 мм и 0,3 мм.

Метод фотолитографии не подходит по причине достаточно большого диаметра нужных нам отверстий, их вытравливание будет довольно проблематичным. В ПП с использованием стандартных материалов со стекловолоконным армированием подходит механическое сверление, так как при лазерном сверлении необходимо подбирать мощность луча лазера, из-за неравномерности материала, а также механическое сверление позволяет сверлить большую толщину ПП, соединяя таким образом несколько слоев ПП.

4 Разработка и изготовление ТО

Тестовые образцы представляют собой 2-х, 4-х, 6-ти, 8-ми слойные печатные платы с отверстиями диаметром 0,1 мм, 0,2 мм, 0,3 мм. Ниже представлены конструкции ТО (Рисунок 1; Рисунок 2; Рисунок 3; Рисунок 4).

Толщина двухслойной ПП – 0,136 мм
Толщина четырехслойной ПП – 0,398 мм
Толщина шестислойной ПП – 0,66 мм
Толщина восьмислойной ПП – 0,922 мм

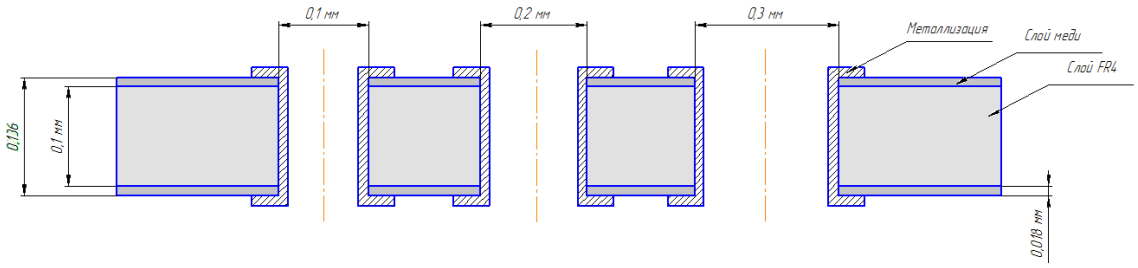


Рис. 1. Двухслойная ПП со сквозными отверстиями

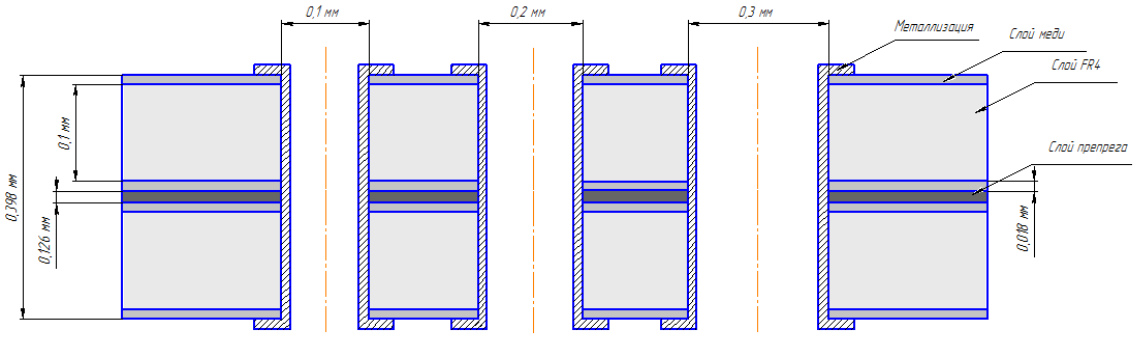


Рис. 2. Четырехслойная ПП со сквозными отверстиями

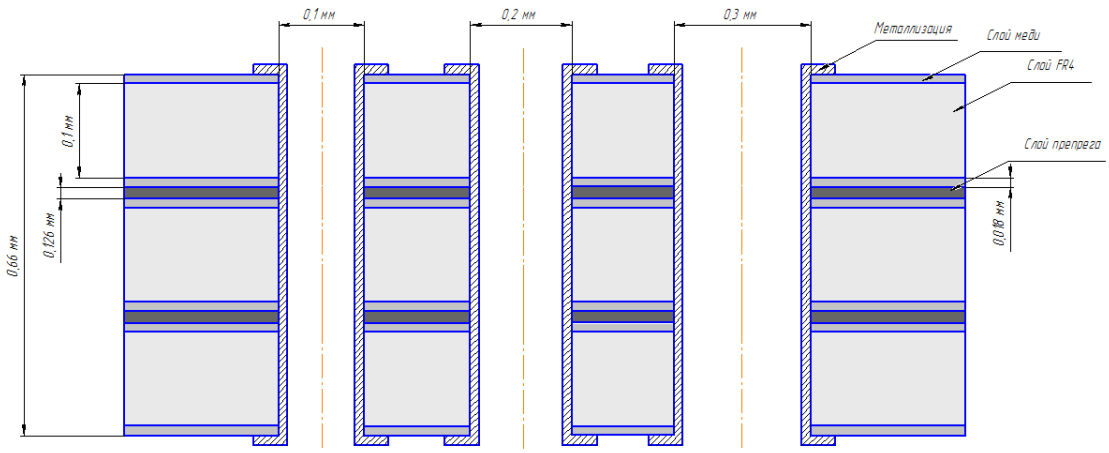


Рис. 3. Шестислойная ПП со сквозными отверстиями

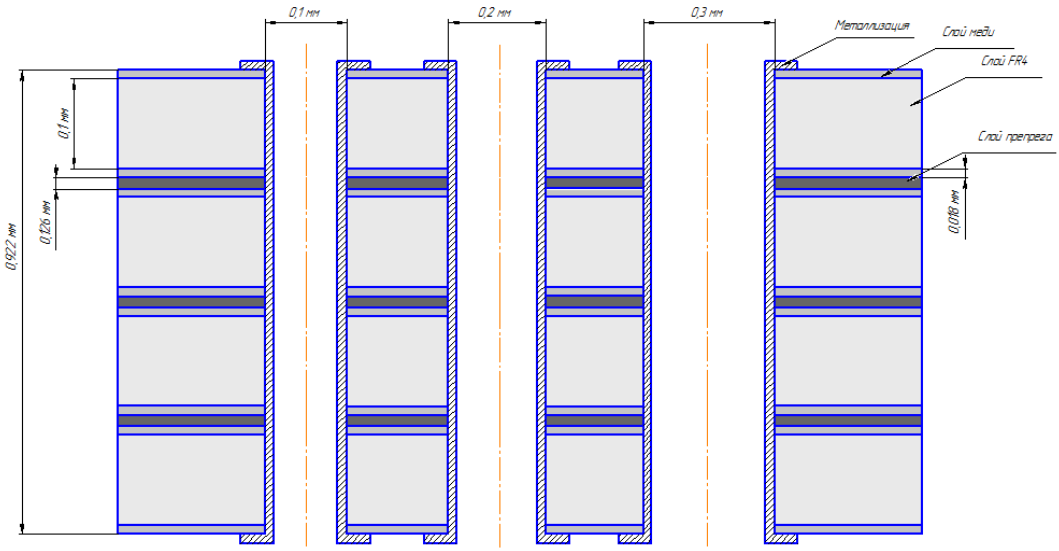


Рис. 4. Восьмислойная ПП со сквозными отверстиями

Для увеличения адгезии слоев МПП и повышения стойкости к расслаиванию был проведен трехступенчатый процесс TOP BOND [5]. Процесс предусматривает использование следующих химических продуктов:

- кондиционер 7876 – щелочной раствор, обладающий чистящими свойствами, подготавливает медную поверхность для TOP BOND покрытия;
- раствор 7877 разработан для продления раствора 7878;
- раствор 7878 дает органометаллическое покрытие коричневого цвета с высокими адгезионными свойствами.

Последовательность операций процесса TOP BOND указана в таблице 1.

Таблица 1. Операции процесса TOP BOND

Процесс	Время, мин	Температура, °C
CONDITIONER 7876	30	+50
Промывка		
PREDIP 7877	30	+25
PROMOTOR 7878	60	+40
Промывка		
Сушка		

После проведения процесса TOP BOND происходит прессование двустороннего фольгированного стеклотекстолита (FR4) 320 х 240 мм с толщиной листа 0,1 мм и толщиной фольги 0,018 мкм с одной стороны и 0,018 мм с другой.

Для проведения операции прессования использовался пресс для многослойных печатных плат *RMP 210* (рисунок 5).

Рис. 5. Пресс RMP 210

Для прессования МПП на этой установке необходимо было выполнить следующие операции.

1. Сборка пакета для прессования (Рисунок 6)
1) Верхняя плита пресс-формы
2) Пленка UTF-100
3) Термобуфер TERMO-500
4) Пленка UTF-100
5) Тестовый образец
6) Пленка UTF-100
7) Термобуфер TERMO-500
8) Пленка UTF-100
9) Нижняя плита пресс-формы
2. Загрузка пакета для прессования
3. Приложение давления
4. Включение нагревателя
5. Цикл прессования платы при заданной температуре
6. Цикл охлаждения платы
7. Выемка многослойной платы

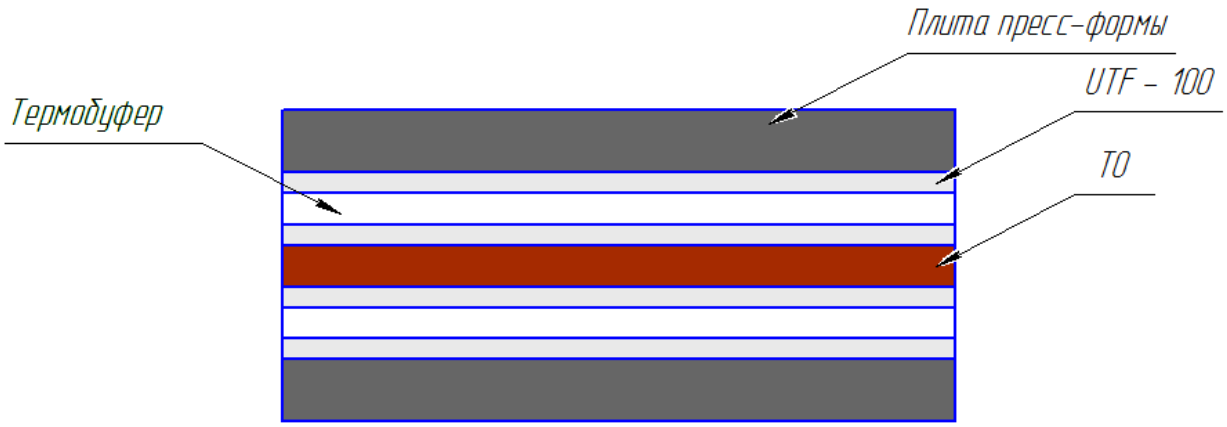


Рис. 6. Пакет для прессования

Используется следующий режим для прессования:

1. Первая ступень - 8 бар, время - 10 мин, температура -180 °С
2. Вторая ступень - 15 бар, время - 90 мин, температура – 180 °С - 60 мин, снижение температуры с 180 °С до 20 °С в течении 30 мин

Ниже представлены графики «полного прессования» (Рисунок 7; Рисунок 8).

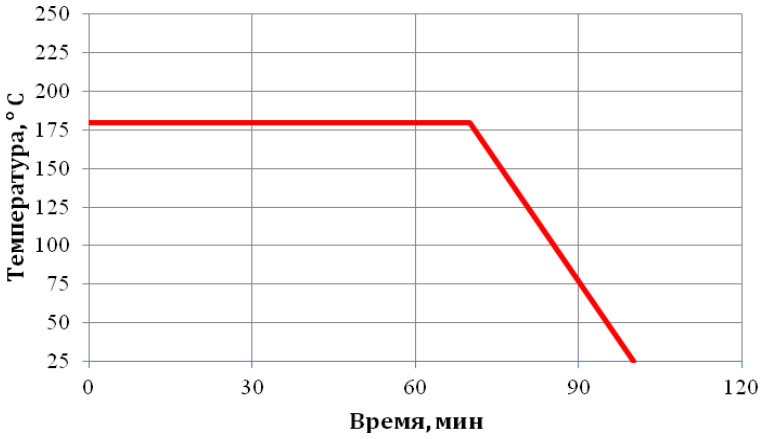


Рис. 7. Зависимость температуры от времени прессования

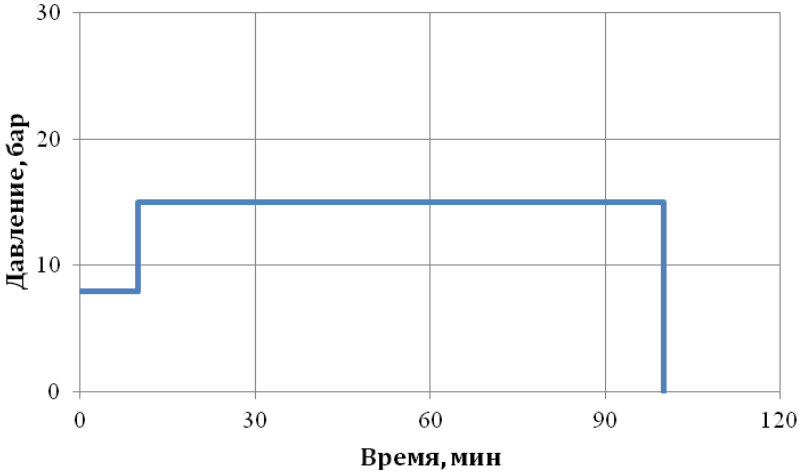


Рис. 8. Зависимость давления от времени прессования

Для того чтобы просверлить отверстия в ПП, следует создать файлы с расширением .drl для сверления на станке. Для выполнения этой задачи использовалась программа подготовки к производству печатных плат *CAM350*. В этой программе был создан нужный нам файл с отверстиями (Рисунок 9). Вся ПП разбита на ячейки по 48 отверстий (Рисунок 10).

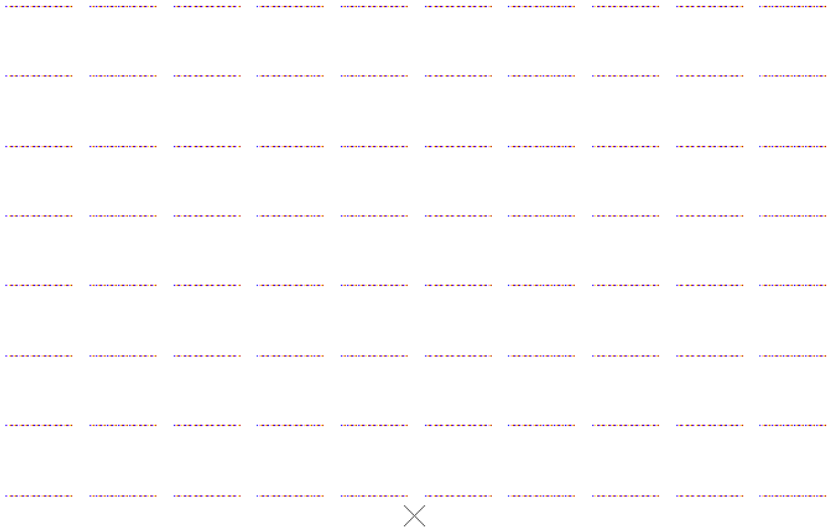


Рис. 9. Разработанный файл с расширением .drl для отверстий диаметром 0,1 мм

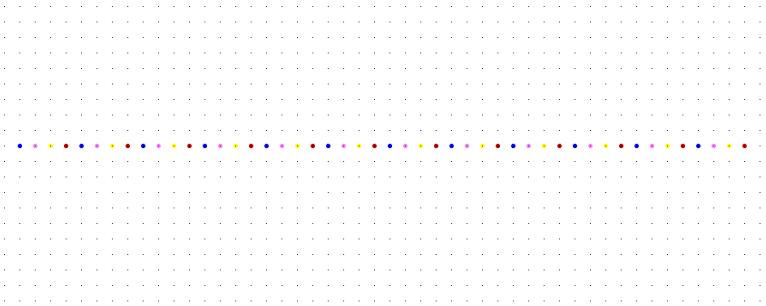


Рис. 10. Одна ячейка с 48 отверстиями диаметром 0,1 мм

Таким же образом были разработаны файлы расширения .drl для отверстий диаметрами 0,2 мм и 0,3 мм.

После проделанных выше действий, следовала операция сверления. Для этого использовался сверлильный станок *Posalux UltraSpeed 3600 - LZ* (Рисунок 11а) и сверла диаметром 0,1мм (Рисунок 11б), 0,2 мм, 0,3 мм.

Фирма *Posalux* является лидером в производстве высокоточных и высоконадежных станков для механической обработки МПП. Станки серии *UltraSpeed* имеют наиболее современные технические решения (линейный привод, цифровое управление тормозной системой, скорость вращения шпинделя до 180 000 об./мин, лазерная система контроля качества инструмента, динамический контроль поломки инструмента, большой магазин инструментов), позволяющие обеспечивать максимальный выход годной продукции, минимизировать время холостых ходов. Использование автоматических загрузчиков/разгрузчиков позволяет снизить сроки окупаемости оборудования за счет уменьшения трудозатрат и потерь времени, связанных со сменой программ [2 - 10].

Рис. 11. Posalux UltraSpeed 3600 – LZ

Рис. 12. Сверло диаметром 0,1 мм

Операция сверления состоит:

1. Сборка пакета для сверления

– Подплатник
– Печатная плата
– Протектор

1. Пробитие штифтовых отверстий
2. Склейка пакета для сверления на специальном станке
3. Загрузка пакета для сверления ПП на станок
4. Работа станка (сверление отверстий)
5. Выгрузка ПП со станка

Протектор, подплатник и штифты входят в технологическую оснастку.

– Назначение протектора:
– обеспечивает центрирование сверла;
– предохраняют сверла от разрушения;
– предотвращают появление заусенцев на контуре отверстия;
– предотвращает загрязнения отверстий и сверла;
– обеспечивают прижим пакета.

Назначение подплатника:

– обеспечивает безопасную среду для выхода сверла;
– предотвращают появление заусенцев на контуре отверстия;
– предотвращают загрязнения отверстий и сверла;
– уменьшают температуру сверления;
– улучшают качество отверстия.

В качестве протектора и подплатника используется гетинакс 320 х 240 мм. Толщина протектора - 0,1 мм; толщина подплатника - 1 мм.

При сверлении ТО были использованы следующие режимы, указанные в таблице 2.

Таблица 2. Режимы сверления

Диаметр сверла, мм	Скорость резания V, об/мин	Скорость вращения шпинделя n, об/мин	Подача S мин, м/мин	Подача S макс, м/мин	Подача S' мин, мм/обор	Подача S' макс, мм/обор	Максимальная температура, °C
0,1	39	124 200	0,43	0,52	0,0035	0,0042	144
0,2	79	125 800	0,88	1,06	0,007	0,0084	147
0,3	95	100 800	1,46	1,54	0,0145	0,0153	173

После операции сверления были проведены операции подготовки и металлизации просверленных отверстий. Изготовленный ТО ПП представлен на рисунке 13.

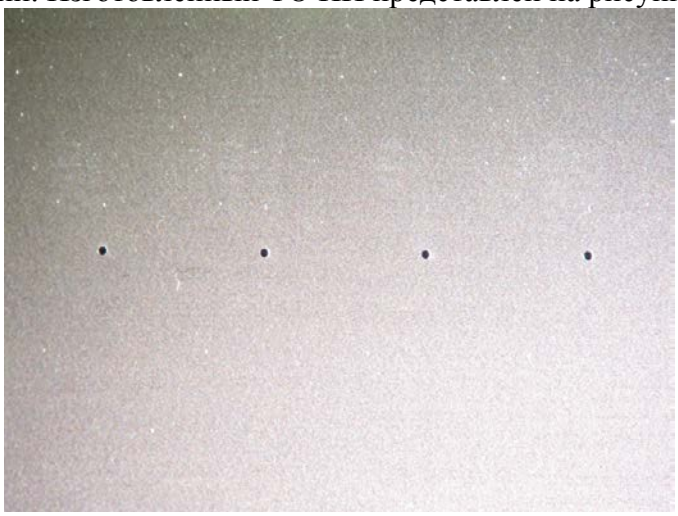


Рис. 13. ТО ПП с отверстиями диаметром 0,1 мм

5 Контроль качества микроотверстий

Для того чтобы провести контроль качества микроотверстий, были сделаны шлифы отверстий ТО ПП [7, 11].

При этом методе использовался микроскоп *Carl Zeiss 426126*. Микрофотографии отверстий ПП представлены на рисунках 14, 15.

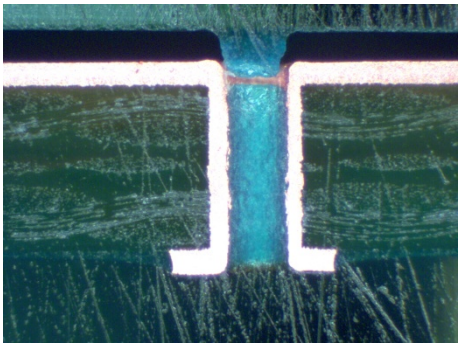


Рис. 14. Микроотверстие диаметром 0,3 мм

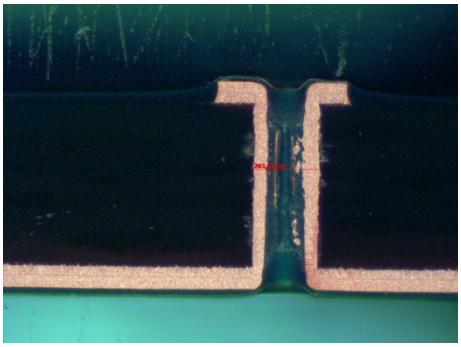


Рис. 15. Микроотверстие диаметром 0,2 мм

Стенки микроотверстий прямые без механических вырывов. Медное покрытие микроотверстий сплошное.

Заключение

В процессе проведения исследования операции сверления микроотверстий ПП были изготовлены ТО ПП с микроотверстиями диаметром 0,3 0,2 0,1 мм в соответствии с представленными режимами механического сверления. Изучение микрофотографий шлифов ТО позволяет сделать положительный вывод относительно качества операции сверления микроотверстий и оценить режимы сверления как рекомендуемые для производства ПП с микроотверстиями.

Литература

1. Гриднев В.Н., Гриднева Г.Н. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ СТРУКТУР ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ - Москва, МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2014. Сер. «Конструирование и технология электронных средств». Том 2. – 344 с.
2. Однодворцев М. В. Современное сверлильно-фрезерное оборудование и роль технолога в получении качественного конечного результата в операции сверления // Технологии в электронной промышленности. – 2005. – № 1. – С. 33 – 36.
3. Однодворцев М. В. Платы печатные. Сверление микроотверстий // Технологии в электронной промышленности. – 2006. – № 1. – С. 32 – 39.
4. Однодворцев М. В. Станки Posalux Ultraspeed – "болиды F1" в производстве печатных плат // Технологии в электронной промышленности. – 2008. – № 2. – С. 28 – 32.
5. Шкундина С. Е. Новые процессы и материалы в производстве печатных плат // Технологии в электронной промышленности. – 2009. – № 4. – С. 16 – 20.
6. Алексеев В.Г., Гриднев В.Н., Нестеров Ю.И., Филин Г.В. ТЕХНОЛОГИЯ ЭВА, ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ - Москва, Высшая школа. 1984.
7. Власов А.И., Гриднев В.Н., Константинов П., Юдин А.В. НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МЕТОДЫ ДЕФЕКТОСКОПИИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ // Электронные компоненты. 2004. № 8. С. 148-155.
8. Гриднев В.Н., Яншин А.А. ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭВА - Москва, высшая школа. 1978. 288 с.
9. Билибин К.И., Гриднев В.Н., Кузин Л.П. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ СБОРКИ МОДУЛЕЙ ЭВА ПЕРВОГО УРОВНЯ: Методические указания к курсовому проектированию по курсам: «Технология приборостроения и производства ЭВА» и «Технология приборостроения и производства РЭА» - Москва, МГТУ им.Н,Э.Баумана. 1988.
10. Миронова Ж.А., Шахнов В.А., Гриднев В.Н. ВЫСОКОПЛОТНАЯ КОМПОНОВКА ПРОВОДЯЩЕГО РИСУНКА МНОГОСЛОЙНЫХ КОММУТАЦИОННЫХ ПЛАТ // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Приборостроение. 2014. № 6 (99). С. 61-70.
11. ОПТИЧЕСКАЯ МИКРОСКОПИЯ. Под ред. В.А.Шахнова - Москва, Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2011. Сер. Библиотека "Наноинженерия" Том. 12. 181 с.

УСТРОЙСТВА РЕМОНТА И ТЕСТИРОВАНИЯ КОМЬЮТЕРОВ

Нгуен К.Д.
научный руководитель:к.т.н., доцент Лавров А.В.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, г. Москва, Россия

PC DIAGNOSTIC REPAIR TOOLS

NguyenK.D.
Scientific chief: Ph.D. Lavrov A.V.
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Аннотация
Целью работы является описание структурной схемы и принципа работы POSTкарт. Также рассмотрен способ программирования элементов, входящих в состав устройств.

Abstract
The goal of this paper is description of block diagram and operating principle of diagnostic card. Method programming elements on these devices was also considered in this paper.

Введение

Создание персонального компьютера можно отнести к одному из самых значительных изобретений 20 века. ПК существенно изменил роль и значение вычислительной техники в жизни человека.

Современные персональные компьютеры обладают высокой надёжностью, но иногда они выходят из строя или начинают неправильно работать. Причины могут быть разными. Поиском неисправностей и ремонтом компьютеров занимаются специальные сервисные центры. При этом очень важно быстро обнаружить неполадку; для этой цели в арсенале сервисных инженеров имеется специальное устройство – POST карта.

Первыми POST картами были карты для шины ISA.Используется она даже сейчас, в основном в промышленном и военном секторе – там, где осталось оборудование для этой шины. В настоящее время архитектура шины ISA считается устаревшей, поскольку её применение значительно снижает общую производительность системы. Место ISA-слотов теперь занимают слоты расширения более производительной шины – PCI. Вопросы проектирования всевозможных устройств сопряжения, поддерживающих интерфейс PCI, имеют особую актуальность сегодня.

1 Принцип работы

Любая системная плата IBM-совместимого компьютера содержит микросхему постоянной памяти, так называемое постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), в которой хранится BIOS (BasicInputOutputSystem – базовая система ввода-вывода). BIOS представляет собой комплекс первичных программ, которые производят проверку базового оборудования компьютера, распознают его конфигурацию и загружают операционную систему [1-3].

Как только на процессор поступает питание, он обращается к этой микросхеме и выполняет процедуру POST– программу самотестирования. Данная процедура позволяет убедиться в работоспособности компьютера и предотвращает работу на неисправном компьютере. В процессе тестирования процедура POST генерирует специальный код тестирования (POST-код), который выводится в виде байта в диагностический порт ввода-вывода компьютера по определенному адресу. Адрес порта вывода кода тестирования зависит от архитектуры компьютера (обычно это адрес 0080h). В случае обнаружения неисправности в тестируемом устройстве процедура POST просто зависает, а

предварительно выведенный POST-код однозначно определяет, на каком из тестов произошло зависание.

Устройство POSTКарта фиксирует генерируемый POST-код и отображает его в удобном для пользователя виде. POST-карта представляет собой обычную карту расширения, которая устанавливается в соответствующий слот материнской платы, например ISA или PCI.

Коды ошибок отображаются в виде одноразрядных шестнадцатеричных чисел в диапазоне 00h-FFh. Таблицы POST-кодов различны для различных производителей BIOS и, в связи с появлением новых чипсетов, несколько отличаются даже для различных версий одного и того же производителя BIOS.

2 Структурная схема POST карт PCI

Структурная схема POSTкарт PCI приведена следующим образом

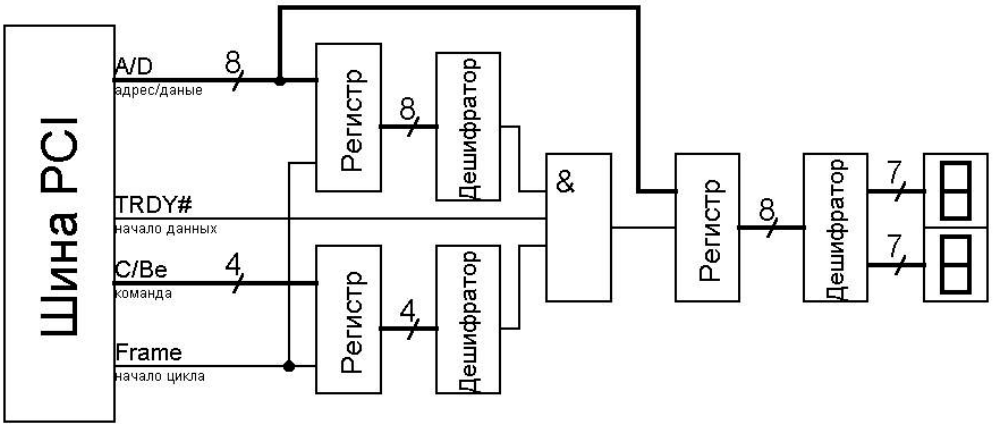


Рис. 1. Структурная схема устройства POSTкартPCI [2]

Классическая POST карта для шины PCI обязательно должна содержать в своём составе специализированный контролер. Изучение протокола работы шины даёт возможность создания POST карты на более простой элементной базе.

Пакетный режим передачи по одной линии адресов и данных можно обойти следующим образом: начало очередного цикла обозначается сигналом "frame", по его фронту схема выхватывает адрес (A/D) и тип команды (C/Be). В случае, если адрес равен 80h, а тип команды - запись в порт, что в обоих случаях определяется соответствующими дешифраторами, то по перепаду сигнала "TRDY#" (начало данных), выхватывается первый пакет данных, который защёлкивается в регистр до повторения всех этих условий еще раз, т.е. до следующего POST кода. Затем происходит дешифрация в шестнадцатеричный код и отображение на индикаторе [4, 5].

3 Программирование ПЛИС

POSTкарт разработана автором всего на одной микросхеме программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) [6, 7]. Для программирования ПЛИС используются языки описания аппаратуры, как VerilogHDLи VHDL, которые предназначены для моделирования электронных схем на уровнях вентильном, регистровых передач, корпусов микросхем.

В более простом языке Verilog поддерживаются только самые простые типы данных - целые (32-бит со знаком), действительные (с плавающей запятой), а также специфические типы "время" и "событие". В VHDL шире набор базовых типов, кроме этого, проектировщик

может создавать свои типы данных, а в Verilog этого делать нельзя. Надо отметить, что программируются в этих языках как данные не элементы памяти, а сигналы. В Verilog, например, они бывают только цепными и регистровыми (последние могут запоминаться где-то).

В VHDL синтаксис позволяет описывать модель в разных стилях (структурное, потоковое, поведенческое описания), а также встраивать в описание фрагменты языков программирования высокого уровня (Си, Паскаль). Этим и достигается его большая универсальность и применяемость не только для описания архитектур вычислительных систем. Например, моделирование разных физических систем у него имеет поддержку в виде типов с физическими размерностями. Verilog также поддерживает разные описания модели системы, но интерфейса с обычными языками программирования у него нет.

Несмотря на похожие названия, Verilog HDL и VHDL - различные языки. Verilog - достаточно простой язык, сходный с языком программирования Си - как по синтаксису, так и по "идеологии". Малое количество служебных слов и простота основных конструкций упрощают изучение и позволяют использовать Verilog в целях обучения. Но в то же время это эффективный и специализированный язык. VHDL обладает большей универсальностью и может быть использован не только для описания моделей цифровых электронных схем, но и для других моделей. Однако из-за своих расширенных возможностей VHDL проигрывает в эффективности и простоте, то есть на описание одной и той же конструкции в Verilog потребуется в 3…4 раза меньше символов (ASCII), чем в VHDL.

Кроме вышеуказанных языков фирмой Alteraразработан AHDL, предназначенный для описания комбинационных и последовательностных логических устройств, групповых операций, цифровых автоматов (statemachine) и таблиц истинности с учетом архитектурных особенностей ПЛИС фирмы Altera.Он полностью интегрируется с системой автоматизированного проектирования ПЛИС MAX+PLUS II. Преимущество AHDL в том, что все конструкции языка синтезируемы. В сравнении с Verilog AHDL как язык ассемблера в сравнении с языком высокого уровня: в AHDL больше контроля, но меньше высокоуровневой поддержки.

Заключение

В данной работе проанализирован принцип работы POSTкарты, её структурную схему и язык программирования ПЛИС.

Знание про POSTкарты полезно всем тем, кто занимается сборкой, ремонтом и модернизацией компьютеров и использует на практике карты для поиска неисправностей.

Литература

1. Вальпа О.«Полезные схемы с применением микроконтроллеров и ПЛИС», Москва, изд. «Додэка-XXI», 2006;
2. http://subscribe.ru/archive/comp.hard.38445/200501/20044625.html;
3. https://parallel.ru/fpga/hdl.html;
4. Журавлева Л.В. ЭЛЕКТРОРАДИОИЗМЕРЕНИЯ: учебное пособие - Москва, Академия. 2004.
5. Журавлева Л.В. ОСНОВЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ - Москва, Академия. 2015. (9 издание, переработанное и дополненное).
6. Стешенко В.Б., «ПЛИС фирмы Altera: проектирование устройств обработки сигналов», Москва, изд. «Додэка», 2000.
7. Котельницкий А.В., Власов А.И. ПРИМЕНЕНИЕ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ НА КРИСТАЛЛЕ // Инженерный вестник. 2012. № 9. С. 10.

РЕГИСТРАЦИЯ И ПЕРВИЧНЫЙ АНАЛИЗ РЕАКЦИЙ НА БОЛЕВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Подорин А.А.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Журавлева Л.В.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия

RECORDING AND PRIMARY ANALYSIS OF RESPONSE TO THE IMPACT OF PAIN

Podorin A.A.
Supervisor: Associate Professor, Ph.D. Juravleva L.V.
Bauman MSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В работе представлен способ снятия медицинских показаний при болевом воздействии для последующего анализа, расчёта параметров второго порядка и подтверждения уже известных зависимостей и поиск новых. Основное внимание уделено рассмотрению уже известных зависимостей, способам анализа данных и общему алгоритму работы системы.

Abstract
This work is devoted to the way to relieve pain when medical evidence for the impact of the subsequent analysis, calculating the second order parameters and confirm the known dependencies and search for new ones. Main attentions is given to the know dependencies, methods of data analysis and the general algorithm of the system.

Введение

Актуальность работы определяется необходимостью определения болевого порога для различных людей по медицинским показателям (электрокардиограмма, фотоплетизмограмма, давление и другие). Основной проблемой является низкая автоматизация в данных областях, а также малое количество исследований в данной области.

Объектом исследования является реакция человека на стандартное болевое воздействие.

Постановка задачи: разработать аппаратное устройство с помощью которого имеется возможность создавать болевое воздействие, а также программное обеспечение для фиксации медицинских показателей [1, 2].

Целью работы является описание алгоритмов работы программного обеспечения, общей структуры программно-аппаратного комплекса, демонстрация основных известных зависимостей медицинских показателей.

Научная и практическая новизна работы заключается в новом подходе к обработке медицинских данных, который позволит на следующем этапе исследования выделить показатели третьего и больших порядков, а также выявить новые зависимости.

Практическая ценность работы заключается в сборе статистических данных по реакции на болевые воздействия для определения дальнейшего направления анализа данных.

Результатом работы являются:

-программное обеспечение для сбора и анализа данных;

-устройство болевого воздействия.

1 Общая структура системы

Проведем системный анализ объекта проектирвоания с использвоанием нотаций RUP [3-5]. В общем случае для работы системы необходимы следующие компоненты (рисунок 1):

-устройство болевого воздействия;

-датчики для снятия медицинских показателей и устройство для их передачи;

-устройство для обработки полученных данных (компьютер и программное обеспечение).

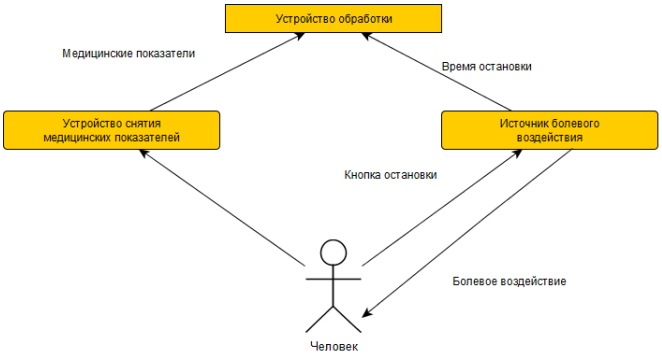


Рис. 1. Общая структура системы измерения болевого воздействия

Источником болевого воздействия является управляемый источник тока. На данном этапе источник можно прикрепить на кожу человека, либо на зуб (десну). Выбор зуба обусловлен спецификой фирмы, для которой разрабатывается комплекс. Также данное устройство передаёт устройству обработки сигнал о прекращении болевого воздействия, силу тока при окончании воздействия и время окончания.

В данном случае в качестве устройства для снятия медицинских показателей используется МПР 6-03 Тритон. Данное устройство позволяет снимать необходимые медицинские показатели, а также передавать их по протоколу Ethernet.

Далее следует отметить, что устройство для обработки (персональный компьютер и программное обеспечение) разрабатывалось на основании уже известных устройств снятия медицинских показателей и источника болевого воздействия.

2 Общий алгоритм работы системы

Алгоритм работы системы представлен на рисунке 2.

Рис. 2. Алгоритм работы системы

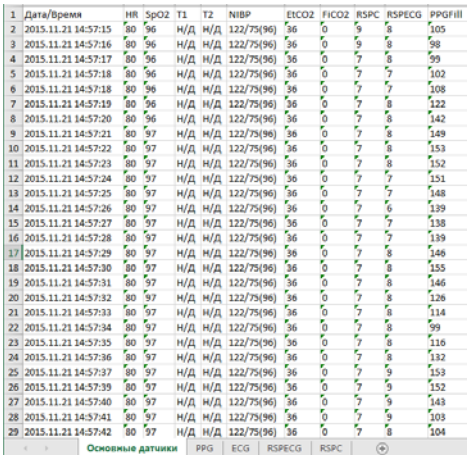
На подготовительном этапе необходимо положить человека в удобном положении, чтобы ничто его не отвлекало т.к. это влияет на полученные данные. После этого на человеке закрепляются медицинские датчик и источник болевого воздействия, человеку в руку даётся

кнопка, которая нажимается первый раз при ощущении боли, а второй раз, когда боль невозможно терпеть, после этого источник боли прекращает своё воздействие.

После этого включаются устройства для обработки информации, сбора медицинских показателей и источник болевого воздействия (само болевое воздействие не формируется). Далее необходимо дождаться стабилизации медицинских показателей – отсутствие резких изменений амплитуды фотоплетизмограммы, стабильная форма фотоплетизмограммы, стабильная частота электрокардиограммы и других.

Запускается сбор информации до начала болевого воздействия, потому что для последующего анализа необходим анализ показателей до болевого воздействия. Активируется болевое воздействие, когда человек почувствовал покалывание, он нажимает на кнопку, после этого более воздействие продолжает усиливаться и когда уже человек не может терпеть, он нажимает кнопку ещё раз – болевое воздействие прекращается, а данные передаются устройству сбора информации.

Далее происходит обработка полученной информации и вывод полученной информации. Пример собранной информации приведён на рисунках 3-5.



1	Дата/Время	HR	SpO2	T1	T2	NIBP	EtCO2	FiCO2	RSPC	RSPECG	PPGFill
2	2015.11.21 14:57:15	80	96	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	9	8	105
3	2015.11.21 14:57:16	80	96	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	9	8	98
4	2015.11.21 14:57:17	80	96	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	8	99
5	2015.11.21 14:57:18	80	96	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	7	102
6	2015.11.21 14:57:18	80	96	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	7	108
7	2015.11.21 14:57:19	80	96	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	8	122
8	2015.11.21 14:57:20	80	96	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	8	142
9	2015.11.21 14:57:21	80	97	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	8	149
10	2015.11.21 14:57:22	80	97	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	8	153
11	2015.11.21 14:57:23	80	97	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	8	152
12	2015.11.21 14:57:24	80	97	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	7	151
13	2015.11.21 14:57:25	80	97	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	7	148
14	2015.11.21 14:57:26	80	97	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	6	139
15	2015.11.21 14:57:27	80	97	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	7	138
16	2015.11.21 14:57:28	80	97	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	7	139
17	2015.11.21 14:57:29	80	97	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	8	146
18	2015.11.21 14:57:30	80	97	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	8	155
19	2015.11.21 14:57:31	80	97	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	8	146
20	2015.11.21 14:57:32	80	97	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	8	126
21	2015.11.21 14:57:33	80	97	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	8	114
22	2015.11.21 14:57:34	80	97	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	8	99
23	2015.11.21 14:57:35	80	97	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	8	116
24	2015.11.21 14:57:36	80	97	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	8	132
25	2015.11.21 14:57:37	80	97	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	9	153
26	2015.11.21 14:57:39	80	97	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	9	152
27	2015.11.21 14:57:40	80	97	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	9	143
28	2015.11.21 14:57:41	80	97	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	9	103
29	2015.11.21 14:57:42	80	97	Н/Д	Н/Д	122/75(96)	36	0	7	8	104

Рис. 3. Пример общей собранной информации

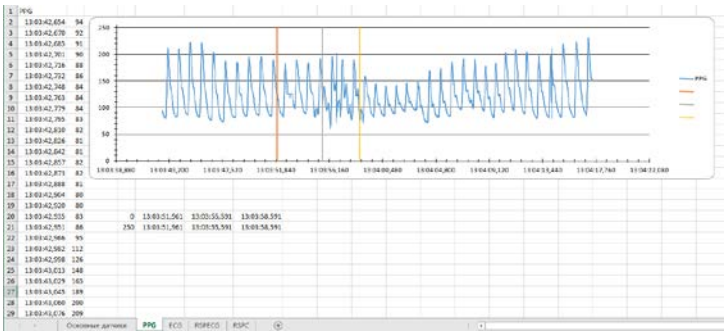


Рис. 4. Пример графика фотоплетизмограммы с болевыми метками

Рис. 5. Пример электрокардиограммы

3 Особенности анализа полученных данных

На следующем этапе необходимо обработать полученные данные. Необходимо вычислить следующие параметры для графиков фотоплетизмограммы и электрокардиограммы:

-разбиение целого графика фотоплетизмограммы на отдельные волны;

-вычисление временных параметров волны(длительность волны, время от начала волны до максимума и от максимума до конца волны);

-площадь волны (площадь графика под кривой);

-амплитуда волны;

-задержка первого максимума фотоплетизмограммы относительно первого максимума электрокардиограммы.

Главной проблемой при расчёте всех этих параметров является вероятность нестабильности медицинских показателей (сдвинулся датчик и т.п.) – это вносит погрешность в расчёты, также медицинские показатели меняются от человека к человеку и сложно предсказать работоспобность одного алгоритма на всех без большого количества испытаний.

Также хотелось бы выделить основные зависимости медицинских показателей, которые были подтверждены в ходе испытаний (рисунок 4):

-увелечение частоты фотоплетизмограммы при ощущении боли;

-уменьшение площади фотоплетизмограммыпри ощущении боли;

-уменьшение амплитуды фотоплетизмограммы после окончания болевого воздействия.

Выводы

Основными итогами данной работы являются разработка программного обеспечения для сбора и анализа данных, а также источника болевого воздействия. Алгоритмы, используемые в программном постоянном дорабатываются на основании проведённых опытных экспериментов.

Литература

1. Мельникова А. В., Шугайлов И.А. Влияние местного обезболивания артикаином и клонидином на состояние сердечно-сосудистой системы детей старшего возраста в стоматологической практике//Стоматология для всех – 2014. - №1.
2. Власов А.И., Конькова А.Ф. МЕДИКО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ АДЕКВАТНОСТИ АДАПТИВНОЙ РЕАКЦИИ ОРГАНИЗМА НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ // Конверсия. 1995. № 9-10. С. 18-21.
3. Власов А.И., Журавлева Л.В., Тимофеев Г.Г. МЕТОДЫ ГЕНЕРАЦИОННОГО ВИЗУАЛЬНОГО СИНТЕЗА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ МИКРО-/НАНОСИСТЕМ // Научное обозрение. 2013. № 1. С. 107-111.
4. Журавлева Л.В., Власов А.И. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТВОРЧЕСКИХ СТРАТЕГИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕНТАЛЬНЫХ КАРТ // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2013. № 1 (21). С. 133-140.
5. Власов А.И., Лыткин С.Л., Яковлев В.Л. КРАТКОЕ ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО РАЗРАБОТЧИКА ПО ЯЗЫКУ PL/SQL - Москва, 2000. Сер. Библиотечка журнала "Информационные технологии" Том 2. 64 с/

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПОДЛОЖКИ ПРИ ИОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКЕ ИСТОЧНИКОМ ИОНОВ С КОЛЬЦЕВЫМ ПУЧКОМ

Рогожин А.А., Васильев Д.Д.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Моисеев К.М.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра МТ11, Москва, Россия

MODELLING OF SUBSTRATE MOVE MENT DURING ION-BEAMT REATMENTB YION SOURCE WITH ARING BEAM

Rogozhin A.A., Vasiliev D.D.
Supervisor: PhD.,docent Moiseev K.M.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье рассматривается моделирование ионной обработки подложки из ионного источника с кольцевым пучком и описывается модель движения подложки. Исследована эффективность ионной обработки в зависимости от вида движения подложки. В результате моделирования построены графики, наглядно показывающие равномерность обработки ионами.

Abstract
In this article the process of ion treatment of substrate by ring ion source is considered and the model of substrate movement is described. Ion treatment efficiency according to a substrate movement type is investigated. As a modelling results the three-dimensional graphs which are shown the ion treatment uniformity are built.

Введение

В настоящее время источники ионов активно используются в микроэлектронике для осуществления ионно-лучевой обработки в таких технологических процессах, как очистка, полирование, активация поверхности, травление и нанесение тонких пленок [1].

Необходимо уделять большое внимание равномерности ионной обработки изделий микроэлектроники, что особенно актуально при использовании подложек больших размеров. Для обеспечения минимальной неравномерности обработки заготовки в промышленных условиях используются протяженные линейные источники ионов [2, 3]. Однако использование подобных источников в лабораторных условиях на этапе отработки технологии является нецелесообразным по причине больших габаритов, сложности эксплуатации и высокой стоимости. Лабораторные установки, как правило, снабжены источниками ионов меньших размеров, поэтому отработка промышленной технологии может представлять некоторые трудности, связанные с равномерностью ионной обработки.

В данной работе для малогабаритного кольцевого источника ионовИК-023 [4]рассмотрены схемы, проведены расчеты движения подложки и определена неравномерность ионной обработки.

1 Моделирование ионной обработки

При моделировании источник ионов рассматривается как совокупность точек, испускающих ионы. Выражение, определяющее эффективность ионной обработки:

$$T(x,y)=\int_{\alpha_1}^{\alpha_2}\int_{0}^{2\pi}\int_{R_1}^{R_2}\frac{P_n\left(\phi(x,y,R,\varphi)\right)\cdot\cos\left(\theta(x,y,R,\varphi)\right)}{C(x,y,R,\varphi)^2}\cdot K\left(\theta(x,y,R,\varphi)\right)\cdot RdRd\varphi d\alpha \qquad (1)$$

где: T–профиль обработанной ионами поверхности;
x, y- координаты точек на подложке;
R- радиус-вектор точки на источнике, изменяющийся отR_1 доR_2;

φ- угол интегрирования, изменяющийся от 0 до 2π;
α – угол поворота подложкодержателя, изменяющийся от α_1 до α_2;
ϕ- угол испускания ионов;
θ- угол падения ионов;
P_n– функция нормального распределения;
C- расстояние между точкой на источнике и точкой на подложке;
K - коэффициент распыления материала.

Расчет удобно проводить в цилиндрических координатах, вследствие чего в интеграле появляется якобианR.Выражение (1) представляет собой произведение дроби, описывающей плотность ионного тока, и коэффициента распыления материала подложки, который зависит от угла падения ионов [5].В формуле отсутствуют константы, так как в дальнейшем выражение будет нормировано относительно своего максимального значения, и константы при этом сократятся.

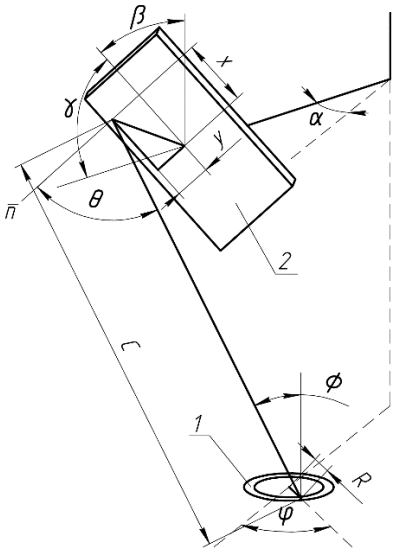


Рис. 1. Геометрическая модель движения подложки
1 – источник ионов,
2 - подложка

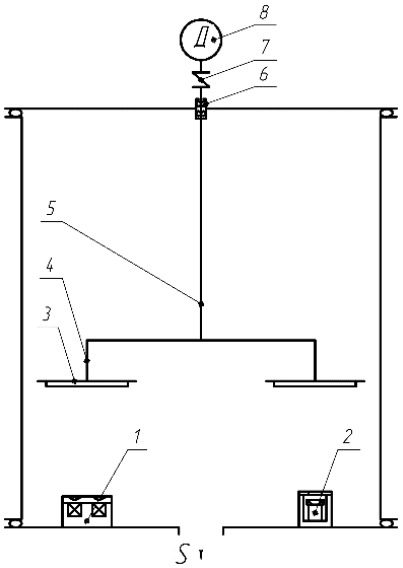


Рис. 2. Схема вакуумной установки МВТУ-11-1
1 – магнетрон; 2 – источник ионов ИК-023;
3 – подложкодержатель; 4 – вал-держатель; 5 – вал;
6 – ввод вращения; 7 – муфта; 8 – двигатель

Равномерность ионной обработки определяется максимальным диаметром круглой подложки, неравномерность обработки которой не более 5%. Для каждого вида движения составляется расчетная схема (рис. 1), по которой определяются зависимости угла испускания ионов, угла падения, расстояние между исследуемыми точками в зависимости от переменных значений радиуса пучка ионов на источнике, угла интегрирования и координат точек на подложке, в которой оценивается эффективность ионной обработки.

Для нахождения функции нормального распределения P_n необходимо определить значение среднеквадратического отклонения σ. Для этого на кафедре «Электронные технологии в машиностроении» на установке МВТУ-11-1 (рис. 2), оснащенной источником ионов с кольцевым пучком ИК-023, был проведен эксперимент, в результате которого было получено значение среднеквадратического отклонения$\sigma = 0{,}059$. Учитывая его, можно получить зависимость функции нормального распределения от угла испускания, откуда следует следующее заключение: с вероятностью 99% на подложку будут попадать ионы, угол испускания которых менее 10°.

2 Анализ видов движения

Для оценки неравномерности ионной обработки были проанализированы различные виды движения подложки под разным углом относительно источника ионов. Их описание и оценка равномерности по наибольшему диаметру вписанной подложки, для которой неравномерность травления составляет не более 5%, приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты анализа движений

№	Описание движения	Оценка равномерности
1	Подложка установлена неподвижно над источником ионов (рис. 3, а).	Ø6,67 мм
2	Вращение подложкодержателя (изменение угла α) (рис. 3, б).	Ø17,04 мм
3.1	Вращение подложкодержателя, подложка вращается вокруг своей оси. Соотношение углов(β:α) – 8:1 (рис. 4, а).	Ø10,00 мм
3.2	Вращение подложкодержателя, подложка вращается вокруг своей оси. Соотношение углов -16:1 (рис. 4, б).	Ø16,30 мм
3.3	Вращение подложкодержателя, подложка вращается вокруг своей оси. Соотношение углов - 100:1 (рис. 4, в).	Ø22,22 мм
4.1	Подложка наклонена (значение угла γ отлично от нуля) и установлена неподвижно над источником ионов. Угол наклона подложки принимается из условия, что в проекции на вид сверху подложка полностью в длину укладывается во внешний диаметр пучка ионов (рис. 5, а).	Ø6,67 мм
4.2	Подложка наклонена и установлена неподвижно над источником ионов. Угол наклона подложки принимается равным половине угла предыдущего случая(рис. 5, б).	Ø6,67 мм
5.1	Вращение подложкодержателя, подложка наклонена. Угол наклона подложки аналогичен, рассмотренному в пункте 4.1 (рис. 6, а).	Ø20,74 мм
5.2	Вращение подложкодержателя, подложка наклонена. Угол наклона подложки аналогичен, рассмотренному в пункте 4.2 (рис. 6, б).	Ø17,04 мм
6.1	Вращение подложкодержателя, подложка вращается вокруг своей оси. Соотношение углов – 10:1.Подложка наклонена. Угол наклона подложки аналогичен, рассмотренному в пункте 4.1 (рис. 7, а).	Ø8,15 мм
6.2	Вращение подложкодержателя, подложка вращается вокруг своей оси. Соотношение углов – 100:1. Подложка наклонена. Угол наклона подложки аналогичен, рассмотренному в пункте 4.1 (рис. 7, б).	Ø39,26 мм
7	Подложка вращается вокруг своей оси, установлена со смещением относительно источника ионов (рис. 8, а).	Ø9,63 мм
8	Подложка наклонена и вращается вокруг своей оси, установлена со смещением относительно источника ионов. Угол наклона подложки аналогичен рассмотренному в пункте 4.1 (рис. 8, б).	Ø20,00 мм

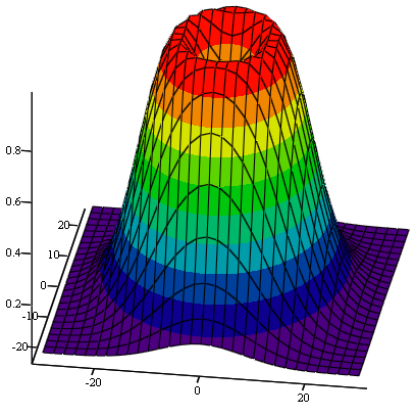


Рис. 3а

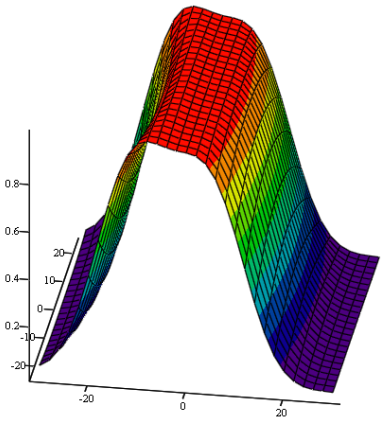


Рис. 3б

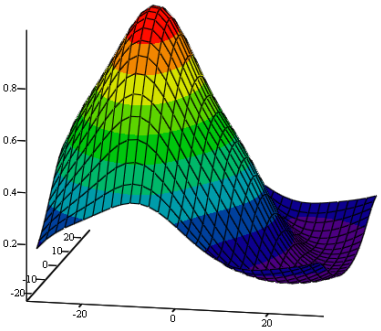


Рис. 4а

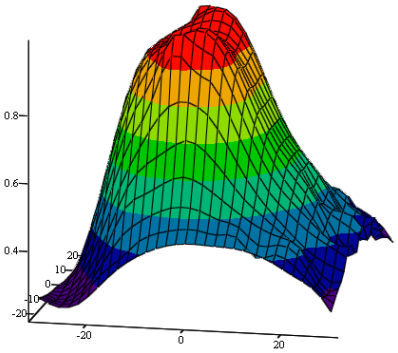


Рис. 4б

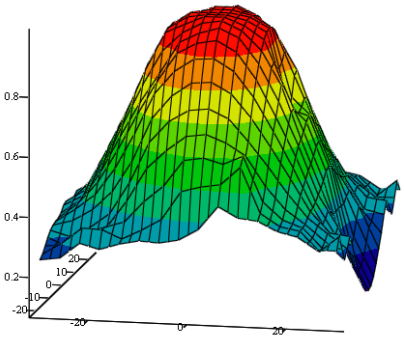


Рис. 4в

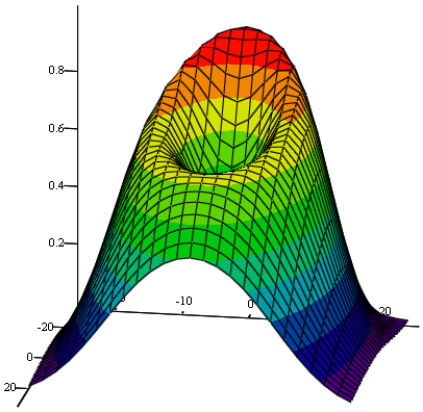


Рис. 5а

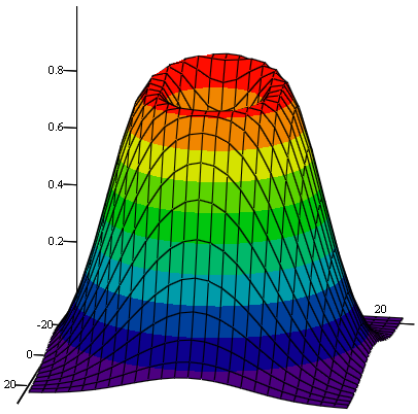


Рис. 5б

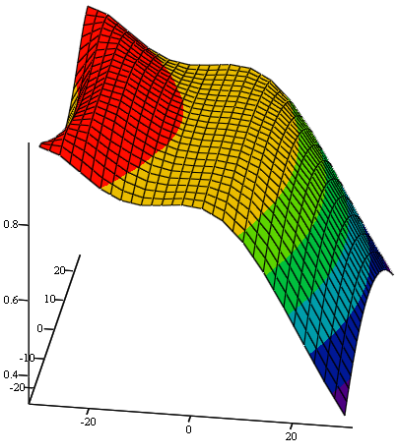


Рис. 6а

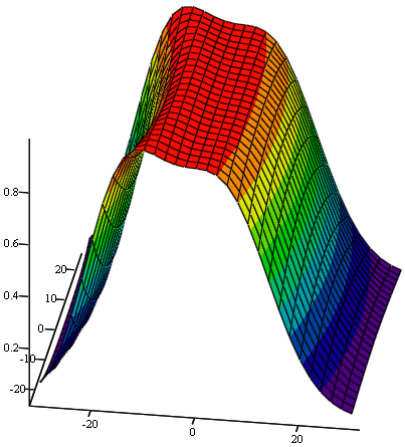


Рис. 6б

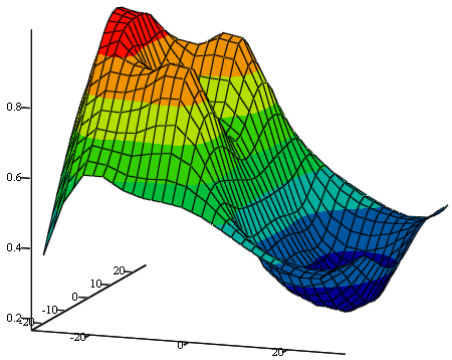


Рис. 7а

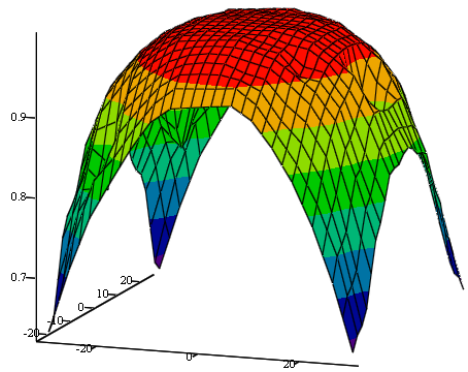


Рис. 7б

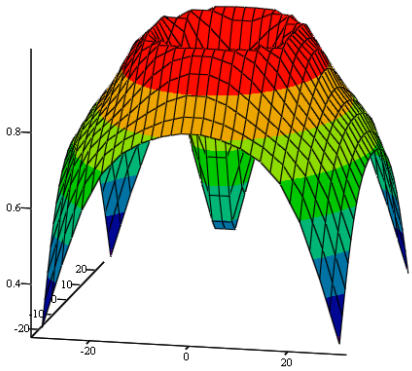


Рис. 8а

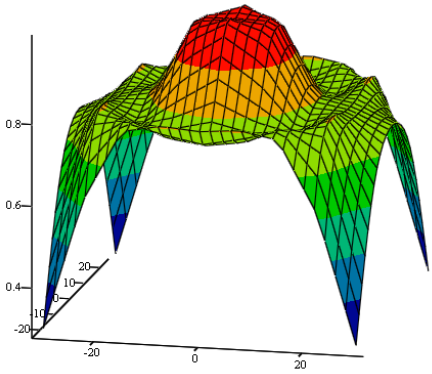


Рис. 8б

Заключение

Некоторые рассмотренные виды движения подложки значительно увеличивают равномерность ионной обработки по сравнению с базовым случаем (движение 1). Вращение подложкодержателя позволяет получать протяженную область с максимальной эффективностью ионной обработки. При больших отношениях угла поворота подложкодержателя и угла поворота подложки наблюдается увеличение диаметра зоны наибольшей обработки. Влияние наклона подложки при ее неподвижном расположении не вносит значительных изменений, однако при движении увеличивает зону с максимальной эффективностью обработки приблизительно в 6 раз (движение 6.2), однако реализация подобной системы движения на практике наиболее сложная, и в ряде случаев не применима при реализации нескольких технологических процессов в едином вакуумном цикле.

Литература

1. Технологии, оборудование и системы управления в электронном машиностроении. Т III-8 / Ю. В. Панфилов, Л. К. Ковалев, В. А. Блохин и др.; под общ.ред. Ю. В. Панфилова. – М.: Машиностроение, 2000. - 744с., ил.

2. Zhurin, V. V. Industrial Ion Sources: BroadbeamGridless Ion Source Technology/ V. V. Zhurin. – Weinheim: Wiley-VCH, 2011. – 312с.,ил.

3. Anders, A. Plasma and Ion Sources in Large Area Coatings: A Review / André Anders // The International Conference On Metallurgical Coatings and Thin Films ICMCTF 2005. Session G5: Large Area Production Coatings for Webs, Plasma Cleaning and Pretreatment of Large Surfaces, 28 February 2005. – 42с.,ил.

4. Отработка режимов технологических источников установки МВТУ-11-1 / А. С. Бабурин, К. М. Моисеев, Ю. Н. Смирнов, А. А. Доброносова// Вакуумная наука и техника: материалы науч.-техн. конф. – М.~:МИЭМ НИУ ВШЭ, 2014. – с. 320-324.

5. Данилин, Б. С. Ионное травление микроструктур / Б. С. Данилин, В. Ю. Киреев. – М.: Сов.радио, 1979. – 104 с., ил.

ЛИТИЙ-ИОННЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ

Новиков И.П., Садовников А.В.
Научный руководитель: к.т.н., Макарчук В.В.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4 ,Москва,Россия

LITHIUM-ION BATTERY

Novikov I.P., Sadovnikov A.V.
Supervisor: Dr., **Makarchyk V.V.**
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация
Представлена история появления и развития литий-ионных аккумуляторов. Детально рассмотрен данный тип аккумуляторов и технические аспекты их функционирования, а также конструкция и принцип работы, разработанных к настоящему времени литий-ионных аккумуляторов. В заключении рассмотрены тенденции развития указанного класса изделий, следуя которым, по мнению авторов статьи, можно улучшить и расширить применение литий-ионных аккумуляторов в различных областях техники.

Abstract
In this paper, we have presented an overview of lithium-ion batteries. We have tried to provide a detailed investigation of this type of batteries and technical aspects of their functioning. There have also presented a structure and working principle of lithium-ion batteries that have been introduced to date. Finally, we have highlighted some of the design challenges and opened issues that still need to be addressed to increase application of lithium-ion batteries for different areas.

Введение

В последние годы ученые и инженеры-разработчики электронной аппаратуры все большее внимание уделяют аккумуляторам, которые могут обеспечивать длительное автономное питание электронных устройств. Итак, литий-ионные аккумуляторы — тип химического источника тока, получивший широкое распространение в современной мобильной технике. В настоящий момент производители практически полностью отказались от использования прочих типов аккумуляторных батарей в мобильных телефонах, поэтому чрезвычайно важно знать, как правильно пользоваться литиевыми источниками питания. В данной статье будут озвучены основные особенности устройства и использования Li-ion батарей, а также некоторые практические советы по их эксплуатации.

Литий-ионные аккумуляторы

Первые эксперименты по созданию литиевых батарей начались в 1912 году. Но только спустя шесть десятилетий, в начале 70-х годов, они впервые появились в бытовых устройствах. Последовавшие вслед за этим попытки разработать литиевые аккумуляторы (рис. 1) оказались неудачными из-за возникших проблем в обеспечении безопасности их эксплуатации, так как литий является очень активным щелочным металлом [1].

Рис. 1. Литий-ионные аккумуляторы

Таким образом, исследователи повернули свой взор в сторону неметаллических литиевых аккумуляторов на основе ионов лития. Немного проиграв при этом в плотности энергии и приняв некоторые меры предосторожности при заряде и разряде, они получили более безопасные так называемые Li-ion аккумуляторы.

Плотность энергии Li-ion аккумуляторов - обычно вдвое превышает плотность стандартных NiCd-аккумуляторов, а в перспективе, с применением новых активных материалов, предполагается ее увеличить и достигнуть трехкратного превосходства над NiCd-аккумуляторами.

На сегодняшний момент существует множество разновидностей Li-ion аккумуляторов. Рассмотрим достоинства и недостатки, свойственные всем их типам.

Достоинства и недостатки

Основными преимуществами Li-ion-аккумуляторов являются:

- большая емкость при тех же самых габаритах по сравнению с аккумуляторами на основе никеля.
- низкий саморазряд.
- высокое напряжение единичного элемента (3.6 В против 1.2 В у NiCd и NiMH) упрощает конструкцию. Многие изготовители сегодня ориентируются на применение для сотовых телефонов именно такого одноэлементного аккумулятора. Однако, чтобы обеспечить ту же самую мощность, необходимо чтобы он мог отдавать более высокий ток. А это возможно только при низком внутреннем сопротивлении аккумулятора.
- низкая стоимость обслуживания (эксплуатационных расходов), поскольку отсутствует эффект памяти и не требуются периодические циклы разряда для восстановления емкости.

Основными недостатками Li-ion-аккумуляторов являются::

- необходимость встроенной схемы защиты (что ведет к дополнительному повышению его стоимости), которая ограничивает максимальное напряжение на каждом элементе аккумулятора во время заряда и предохраняет его от слишком низкого напряжения на элементе при разряде. Кроме того, она должна ограничивать максимальные токи заряда и разряда и контролировать температуру элемента.
- аккумулятор подвержен старению, даже если не используется и просто лежит на полке. Процесс старения характерен для большинства Li-ion-аккумуляторов. Небольшое уменьшение емкости заметно после одного года, вне зависимости от того, используется аккумулятор или нет. Через два или три года он часто становится непригодным к эксплуатации. Для уменьшения процесса старения необходимо хранить заряженный примерно до 40 % от номинальной емкости аккумулятор в прохладном месте отдельно от телефона.
- более высокая стоимость по сравнению с NiCd-аккумуляторами.

По удельным характеристикам Li-ion аккумуляторы лидируют среди массово выпускаемых и занимают одно из первых мест среди применяемых электрохимических систем. Li-ion аккумуляторы обладают высокой удельной энергией (до 190 Вт•ч/кг), высоким разрядным напряжением (3,4–4 В и более, в зависимости от используемых электродных материалов), очень низким саморазрядом (менее 3% в месяц) и длительным сроком службы (более 1000 циклов заряда/разряда, до снижения емкости на 20% от номинальной к тысячному циклу). В зависимости от материалов и конструкции эти аккумуляторы могут работать в интервале температур от –40 до +80°С. При этом их стоимость постоянно снижается, а область применения расширяется. На рис. 2 показаны возможные сочетания удельной энергии и удельной мощности у аккумуляторов различных типов.

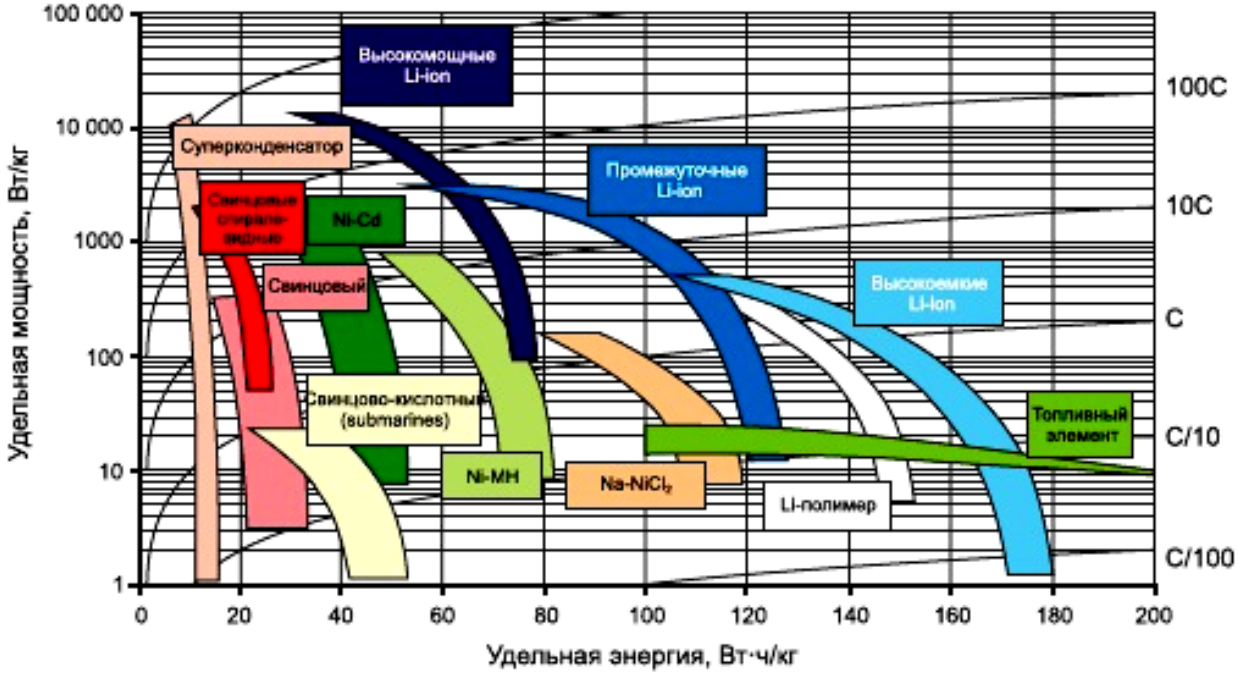


Рис. 2. Удельные характеристики различных типов аккумуляторов

Строение и классификация литий-ионных аккумуляторов

Деление Li+ аккумуляторов на высокомощные, высокоемкие и промежуточные, занимающие место между двумя приведенными классами, носит условный характер (синие области на рис.2). Суть этого разделения в следующем. Даже с учетом одного и того же электрохимического процесса сам аккумулятор, как конечное изделие, можно изготовить по-разному (рис. 3). Например, токопроводящую основу электрода (алюминиевая фольга на положительном электроде, медная — на отрицательном) в одном случае можно сделать тоньше и электродной массы нанести больше, а в другом — наоборот. Чем больше соотношение активных электродных масс, участвующих в электрохимических реакциях, к пассивным, не участвующим в них, тем выше удельные характеристики конечного изделия. Однако, чем меньше толщина медной фольги, тем меньший ток она может пропустить без перегрева. И наоборот, чем больше толщина слоя электродной массы, тем больше его сопротивление. То есть аккумулятор с более тонкой токопроводящей основой и более толстым слоем электродной массы будет иметь высокие показатели по запасаемой энергии, но низкую мощность, и наоборот. Поэтому для еще большего снижения сопротивления применяют активные материалы с меньшим размером частиц.

Варьируя толщину электродов, фольги, сепаратора и материалы положительного и отрицательного электрода, размеры частиц, производители могут изготовить аккумулятор с различными максимальными токами разряда и/или различной емкости в одном и том же типоразмере конечного изделия. Высокомощные аккумуляторы (с высокими токами разряда) должны иметь и более массивные токовыводы, что предохраняет аккумулятор от перегрева при больших значениях тока. К тому же для увеличения тока разряда в состав электролита и активных масс можно вносить всевозможные добавки, увеличивающие проводимость [2].

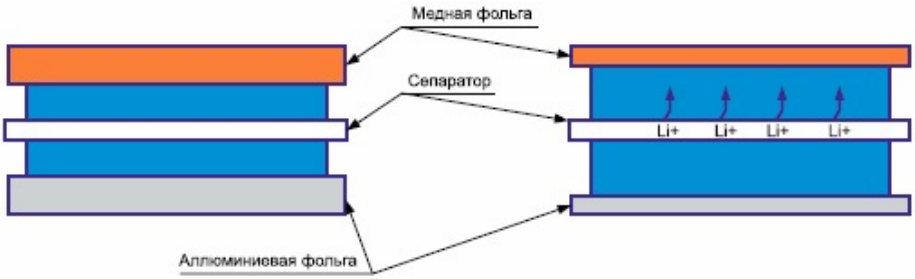


Рисунок 3 - Строение Li-ion аккумулятора

Высокоемкие аккумуляторы обычно имеют небольшие размеры борнов (токосъемников) в сравнении с объемом корпуса аккумулятора. Такие борны рассчитаны на относительно малые токи разряда. Например, если аккумулятор имеет емкость 10 А/ч, то максимальный ток разряда составит 20 А (получасовой режим).

Высокоемкие и высокомощные аккумуляторы предназначены для разных задач и имеют различное назначение, хотя иногда их совместно эксплуатируют в одном изделии: одни для стартерных режимов, другие — для питания слаботочной аппаратуры.

Принцип заряда

Метод заряда Li-ion аккумуляторов можно условно разделить на четыре этапа, это показано на рис. 4.

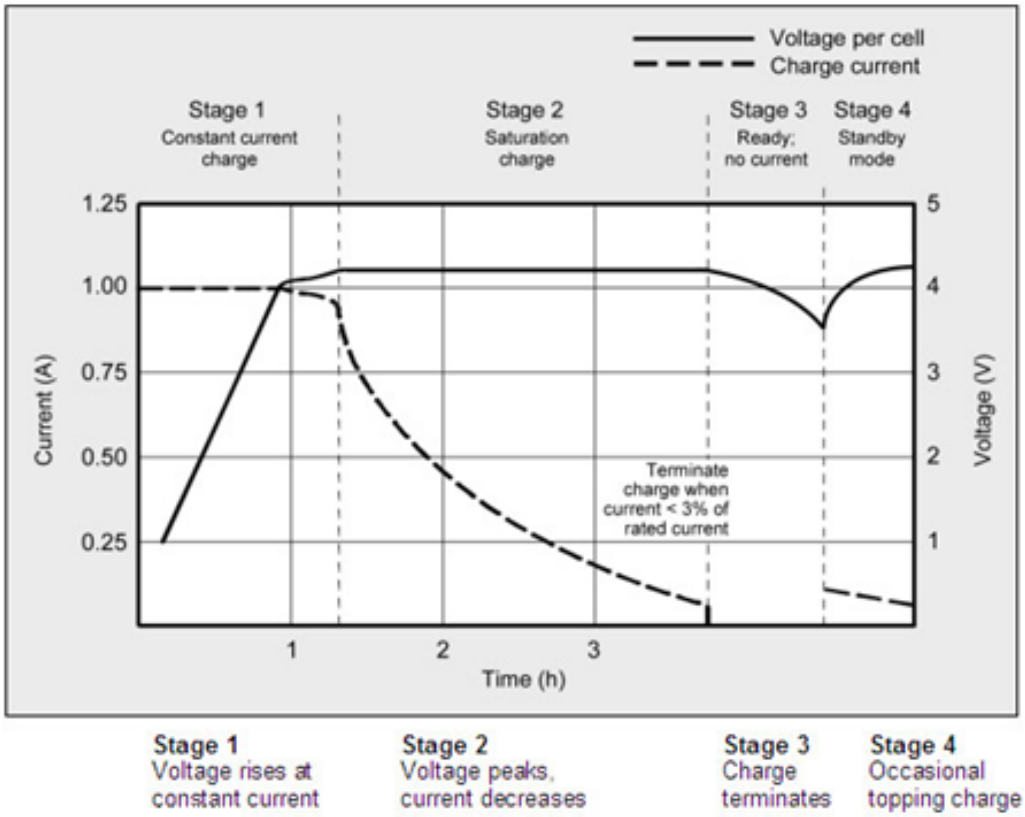


Рисунок 4 - Этапы зарядки Li-ion аккумуляторов

1) Подготовительный этап

Подготовительный этап необходим, когда напряжение на аккумуляторе ниже некоторого установленного значения. При долгом хранении аккумулятора вследствие саморазряда и/или потребления системы обеспечения функционирования(СОФ) его напряжение может упасть. Малый ток заряда обеспечивает постепенный выход активных электродных материалов на заданные уровни напряжения, при которых они штатно

функционируют, после чего включается основной ток заряда. Данный режим призван обеспечить более долгую жизнь аккумулятора при выходе его из заданного диапазона напряжений. Подготовительный этап применяется и в случае заряда аккумулятора при низких температурах, например ниже +5°С — для «разогрева» электродных масс.

Первоначальный заряд малым током используется и для обеспечения безопасности аккумулятора при заряде. Если внутри аккумулятора произошло микрокороткое замыкание (или просто КЗ), то по истечении некоторого времени заряда напряжение на нем не будет возрастать. Этот факт может свидетельствовать о неисправности. Если начать заряд достаточно большим током сразу, то при КЗ может произойти сильный разогрев аккумулятора и его разгерметизация. Хотя СОФ имеет температурный датчик, при быстром заряде и относительно большой теплоемкости аккумулятора и высоком конечном значении теплопроводности разгерметизация может произойти немного раньше, чем СОФ отключит аккумуляторы от заряда. Функция заряда малым током часто возлагается не на зарядное устройство, а на СОФ батареи. В схеме СОФ это может быть дополнительный MOSFET транзистор, управляющий зарядом, включенный через последовательный резистор, ограничивающий ток, подключенный к аккумуляторной батарее.

2) 1 этап

На этом этапе заряд осуществляется номинальным током, который измеряется в долях от номинальной емкости аккумулятора (Сн). Например, емкость аккумулятора 10 А·ч, номинальный ток заряда 0,2Сн, то есть 2 А — пятичасовой режим заряда. Понятно, что потребитель хочет, чтобы заряд осуществлялся как можно быстрее — в течение 1–2 ч, что соответствует 0,5–1Сн. Такой режим заряда обычно называют ускоренным. Для нормальной работы аккумулятора номинальный ток заряда лежит в пределах 0,2–0,5Сн, а ускоренный, как уже говорилось, — в диапазоне 0,5–1Сн. Каким максимальным током можно заряжать тот или иной аккумулятор, можно узнать в документации на конкретный тип устройства.

Чем выше ток заряда, тем меньше аккумулятор «наберет» емкости и тем пристальней необходимо следить за разогревом, чтобы его температура не вышла за установленный предел. При большом токе заряда существенно продлевается время 2-го этапа (рис. 4), когда ток постепенно падает до определенного предела. Так, например, при токе заряда 1Сн и отводимом на заряд времени в 1 ч аккумулятор достигнет своего конечного напряжения за 45–50 мин. Любой аккумулятор имеет внутреннее сопротивление. Падение напряжения на внутреннем сопротивлении при большом токе заряда приведет к более быстрому достижению конечного зарядного напряжения. При достижении конечного напряжения заряд перейдет ко второму этапу — падающему току при постоянном напряжении. За оставшееся время 10–15 мин. аккумулятор «наберет» еще 0,1–0,15Сн, что в сумме составит не более 0,85–0,95Сн. При более коротком режиме заряда и лимите времени зарядная емкость будет еще меньше.

Ускоренный и номинальный режим заряда необходимо чередовать, особенно при заряде батарей, состоящих из нескольких последовательно соединенных аккумуляторов. При номинальном токе заряда возрастает его продолжительность. Увеличение времени заряда способствует лучшей балансировке аккумуляторов в батарее [3]. Чем больше время такой балансировки, тем лучше будут сбалансированы аккумуляторы по емкости и, в конечном итоге, батарея отдаст емкость, близкую к номинальной при разряде.

3) 2 этап

Второй этап — это заряд при постоянном напряжении и падающем до определенного значения токе. Например, процесс считается завершенным при установлении тока заряда менее 0,1–0,05Сн (в нашем примере 100 мА). Время заряда падающим током также зависит от срока службы и количества циклов заряд/разряд

После окончания заряда напряжение на аккумуляторе падает на 0,05–0,1 В (рис. 4), приходя к своему равновесному состоянию. Держать аккумулятор продолжительное время (десятки часов) при конечном напряжении (например, 4,2–4,3 В) не рекомендуется, поэтому после фазы падающего тока желательно прекратить заряд [4].

Производители электроники предоставляют уже готовые схемотехнические решения, реализующие описанный выше алгоритм заряда, выполненные в одном корпусе микросхемы — например MAX1551, MAX745 и т. д. Одна из популярных микросхем, применяемых для заряда Li-ion аккумуляторов мобильных телефонов, фототехники и т. д. от сети постоянного тока 12–24 В — MC34063.

4) Stand by этап

Если Li-ion аккумуляторная батарея должна быть в зарядном устройстве для эксплуатационной готовности, то некоторые зарядные устройства применяют кратковременный подзаряд аккумулятора, чтобы компенсировать его небольшой саморазряд. Зарядное устройство срабатывает, когда напряжение в цепи падает до 4.05 В/батарею и выключить при достижении 4.20 В/батарею. Зарядные устройства, сделанные для работы в режиме эксплуатационной готовности, или режиме ожидания, часто дают упасть напряжению до 4.00 В/батарею и зарядиться только до 4.05 В/батарею вместо 4.20 В/батарею. Это приводит к продлению срока службы батареи [5].

Применение и тенденции развития

Литий-ионные технологии находятся лишь на старте реализации потенциала и повсеместного промышленного внедрения. В частности Li-ion аккумуляторы применяются в авиалайнерах, автомобилях, суднах. Например, компания Boeing улучшила саму технологию производства аккумуляторов так, чтобы предотвращать прорыв элементов при повышении температуры, и изменила их конструкцию с уменьшением тепловыделения. Кроме того, была усовершенствована система зарядки. И наконец, специалисты Boeing разработали новую конструкцию батарейного отсека, которая могла бы защитить самолет в случае, если отказ аккумуляторов все-таки произойдет. Еще одна сфера, где применение литий-ионных технологий дало качественный скачок в развитии целой индустрии – это электромобили. Одним из лидеров по разработке, производству и продвижению электромобилей на литий-ионных аккумуляторах является американская компания “*Tesla Motors”*. Для обеспечения своих автомобилей источниками питания компания даже планирует построить завод по производству литий-ионных аккумуляторов полного цикла. Помимо этого в 2016 году в Норвегии планируют спустить на воду электропаром. Судно, разработанное специалистами немецкой компании “*Siemens”* и норвежской судоверфи “*Fjellstrand”*, будет оборудовано двумя электродвигателями, работающими от литий-ионных аккумуляторов, и сможет перевозить на борту 120 автомобилей и 360 пассажиров. Еще одним примером является японская компания “*Hirobo”* из Хиросимы, инженеры которой сконструировали одноместный электрический вертолет “*Hirobo Bit”*, развивающий скорость до 100 км/ч. Электрический двигатель, в отличие от обычных, работает практически бесшумно, а одного заряда аккумуляторов хватает на 30 минут непрерывного полета.

Таким образом дальнейшее развитие Li-ion аккумуляторов направлено на увеличение мощности и емкости при минимизации размеров. В частности, применение кремниевых нанопроводов вместо графитовых анодов позволит втрое увеличить емкость аккумуляторных батарей и до 10 минут сократить время их зарядки. Использование Li-ion аккумуляторов большой емкости приведет к повышению экологичности за счет снижения выбросов углекислого газа у транспортных средств более, чем на 25%.

Выводы

Сегодня Li-ion аккумуляторы по праву считаются лучшими электрохимическим источниками электропитания различных устройств. Благодаря относительно малому весу и большой удельной емкости они наиболее часто применяются в мобильных устройствах. За счет развития науки и техники Li-ion аккумуляторы преодолели свои главные недостатки: стабильность работы и большие токи разряда, чем потеснили никель-металлгидридные (Ni-MH) и никель-кадмиевые (Ni-Cd) аккумуляторы. В дальнейшем планируется увеличить эффективность Li-ion аккумуляторов еще в два раза, что позволит полностью заменить аккумуляторы указанных выше типов. Кроме того были специально разработаны Li-polymer аккумуляторы, которые обладают еще большей емкостью и надежностью по сравнению с Li-ion аккумуляторами.

В 2014 году французскими учеными были разработаны Na-ion аккумуляторы, которые в настоящее время являются наиболее эффективными из всех известных типов аккумуляторов, которые сейчас проходят завершающую стадию доработки и тестирования, что позволит в перспективе заменить ими Li-ion и Li-polymer аккумуляторы.

Литература

1. Таганова А.А., Бубнов Ю.И., Орлов С.Б. Герметичные химические источники тока: элементы и аккумуляторы. Оборудование для испытаний и эксплуатации: Справочник СПб.: Химиздат, 2005., 52 стр.
2. Современные Li-ion аккумуляторы. Типы и конструкция. Журнал «Компоненты и технологии» №11 за 2013 год., стр. 67-74
3. Рыкованов А.С. Системы баланса Li-ion аккумуляторных батарей// Силовая электроника. №1 за 2009., стр. 52-55
4. Способы заряда Li-ion аккумуляторов и батарей на их основе. Журнал «Компоненты и технологии» №11 за 2012 год., стр. 48-53
5. Электронный ресурс BU-409: Charging Lithium-ion., http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries

РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВОГО СПИРАЛЬНОГО РЕЗОНАТОРА

Сафаров М.А.
МГТУ им. Н.Э. Баумана

DEVELOPMENT OF HIGH VOLTAGE SOURCE BASED ON QUARTER-WAVE SPIRAL RESONATOR

Safarov M.A.
Bauman MSTU

Аннотация
Работа посвящена разработке источника высокого напряжения, основанного на четвертьволновом спиральном резонаторе. Использованы различные методы схемотехнического и конструкторского проектирования, в том числе, комплекс мер по улучшению надежности и безопасности устройства.

Abstract
The work is devoted to development of high voltage source based on quarter-wave spiral resonator. Number of methods, including several methods for increasing reliability and safety, are used for development of circuits and design of the device.

Схемотехническое проектирование

Первоначальная схема (рис. 1), обладала множеством недостатков и в дальнейшем прошла целый ряд усовершенствований: повышение мощности, снижение тепловых потерь, обеспечение устойчивости и надежности (устранение искажений ШИМ-сигнала (рис. 4), эффекта Миллера, тиристорного эффекта, импульсных помех, влияния ЭМИ (рис.4)).

Рис. 1. Первоначальная схема блока управления трансформатором Тесла (с полумостовым инвертором и трансформаторной развязкой): сигналы на выходе управляющей части, трансформатора, инвертора

В результате схемотехнического проектирования разработан и изготовлен блок управления (рис. 2), который отличается повышенной мощностью, надежностью, низкими тепловыми потерями и возможностью быстрой точной настройки импульсов на резонансную частоту. Также, в данную схему введена возможность регулировки скважности выходных импульсов аналоговым сигналом.

Рис. 2. Лицевая панель блока управления трансформатором Тесла; сигналы на истоке транзистора верхнего плеча инвертора, затворах транзисторов инвертора, входе DTC, выходе ШИМ

Далее были проведены конструкторское и технологическое проектирования. В частности, для смены объектов демонстрации был использован реверсивный электромеханический привод, лицевая панель была создана с помощью CorelDraw и системы TROFTEC, для изготовления вторичной обмотки изготовлен самодельный намоточный станок.

Большое внимание при создании устройства было уделено обеспечению безопасности: специальные схемотехнические решения позволили снизить питающее напряжение до безопасного (~42 В), для защиты от выделяющегося озона использован угольный фильтр, клетка Фарадея защищает от ЭМИ, LC-фильтр обеспечивает ЭМС с другими устройствами, высокая частота тока защищает от воздействия высокого выходного напряжения (скин-эффект) [8 - 10].

Рис. 3. Результат конструкторского и технологического проектирований

В рамках работы было проведено множество экспериментальных исследований. Исследование зависимости длины дугового разряда от параметров катушки Тесла представлены на рисунке 4.

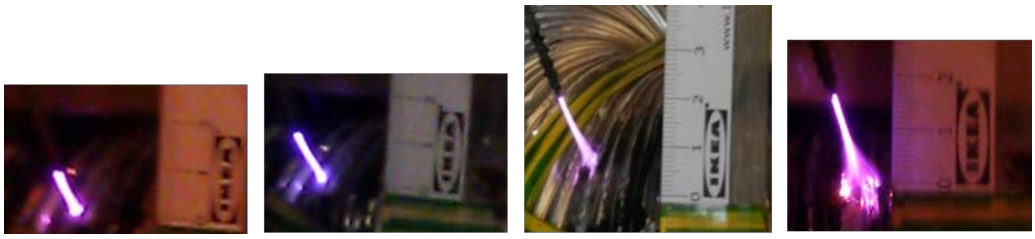


Рис. 4. Дуговые разряды при различный параметрах КТ

В результате данного исследования были определены оптимальное расположение первичной обмотки, количество ее витков. Выяснено, что емкость вторичного контура положительно влияет на длину дугового разряда

1. Измерение выходного напряжения (проведенное при помощи самодельного киловольтметра), исследование влияния вторичной обмотки на первичную.

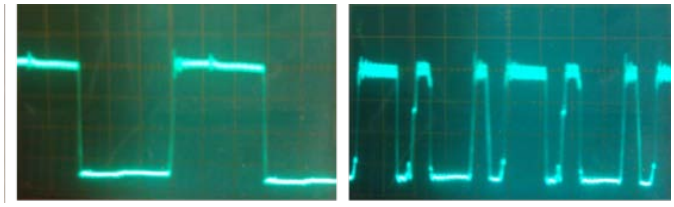


Рис. 5. Сигналы на первичной обмотке без резонанса, при резонансе в КТ

Измерения показали, что при резонансе напряжение на вторичной обмотке многократно увеличивается, и оно оказывает значительное влияние на первичную.

3. Исследование параметров ЭМП трансформатора Тесла, проведенное при помощи самодельного датчика на основе магнитной антенны.

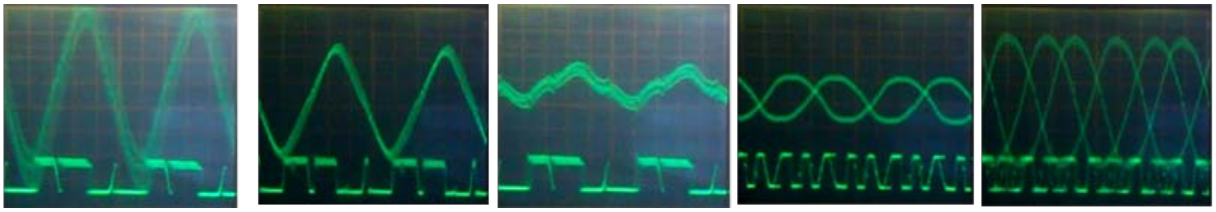


Рис. 6. Сигнал на антенне при различных параметрах

Данное исследование показало, что напряженность распределена в форме стоячей волны, пучность которой находится на верхнем конце вторичной обмотки.

4. Измерение периода гармоник и тока в первичной обмотке трансформатора Тесла в различных режимах работы

В результате данного исследования было выяснено, что в трансформаторе Тесла большая часть потребляемой энергии переходит в энергию электромагнитного поля, а также то, что в нём можно наблюдать картину пространственных гармоник, период которых пропорционален емкости вторичного контура

5. Лабораторное исследование эффективности экранирования ЭМИ от демонстрационной установки клеткой Фарадея

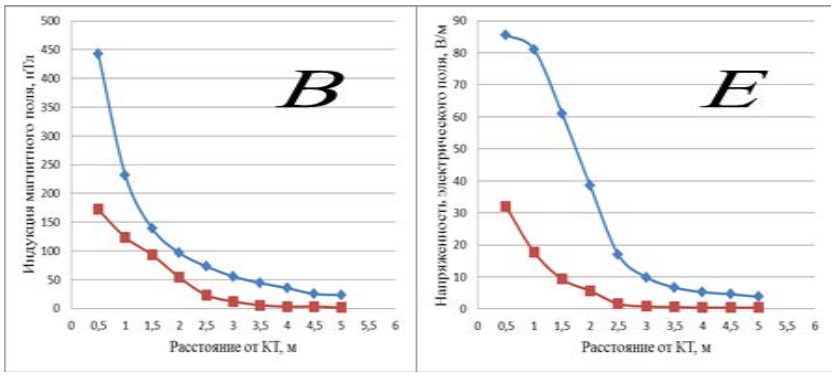


Рис. 7. Результаты исследования индукции магнитного поля, напряженности электрического поля

Исследование с помощью профессионального метрологического оборудования показало, что применение клетки Фарадея позволяет снизить уровень ЭМИ от КТ до безопасных значений. Данные зафиксированы в Акте технической экспертизы (рис. 7).

В рамках работы проведено сравнение с единственным найденным аналогом – учебной катушкой Тесла немецкой фирмы «3B Scientific». Устройство, созданное в рамках данной работы, обладает преимуществом по функциональности, универсальности, инвариантности, возможности расширения функционала, стоимости, наличии защиты от электромагнитного излучения и озона, но однако, уступает аналогу по массе и габаритам.

Результаты работы:

Разработана, изготовлена и исследована демонстрационная установка по электродинамике, которая отвечает всем требованиям к современному учебному оборудованию, в том числе соответствующим СанПиН и ГОСТ [11-16].

Созданная установка успешно апробирована на региональных и всероссийских конференциях.

Разработано методическое пособие для работы с установкой

Научная новизна работы заключается в комплексной адаптации трансформатора Тесла к учебному процессу, а также в применении клетки Фарадея в качестве дополнительной емкости вторичной обмотки, что существенно повышает эффективность установки.

Практическая ценность созданного устройства заключается в том, что оно может использоваться в качестве демонстрационной установки в учебном процессе, и для популяризации технических и естественнонаучных дисциплин.

Фотографии опытов, проводимых на разработанной установке, представлены на рисунке 8.

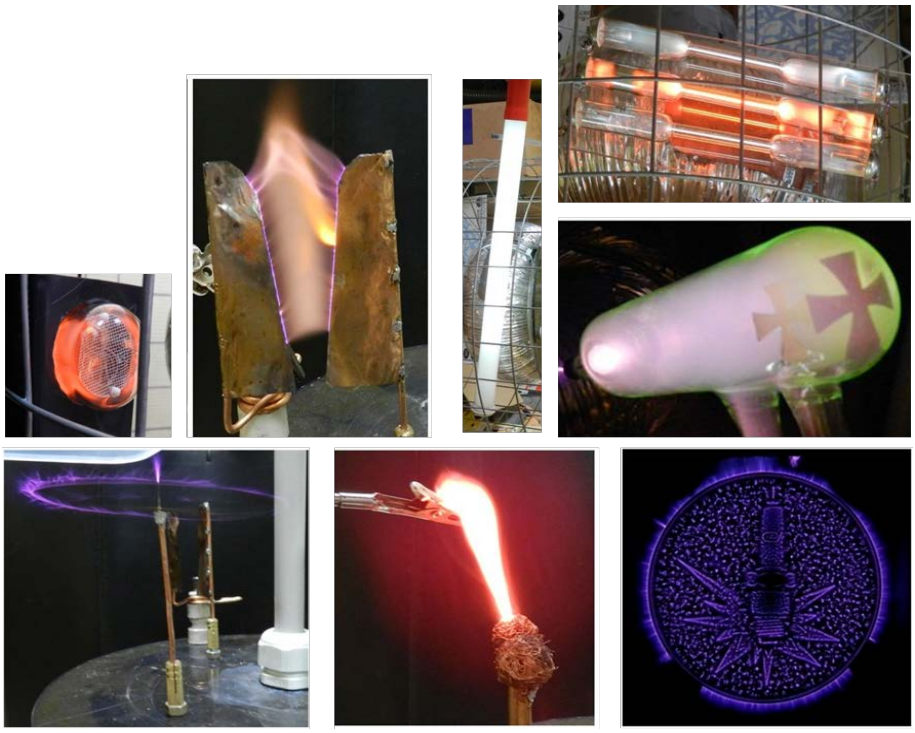


Рис. 8. Опыты, проводимые на созданной установке: демонстрация стоячей электромагнитной волны, эффект «лестницы Иакова», свечение различных газов в ЭМП высокой напряженности и беспроводная передача энергии, опыт с «мальтийским крестом», эффект «ионного двигателя», окрашивание дугового разряда различными веществами и демонстрация плазменного громкоговорителя, эффект Кирлиана

Литературы

1. Федеральный компонент государственного стандарта общего образования. Часть II. Среднее (полное) общее образование./ Министерство образования Российской Федерации. - М. 2004. - 266 с.;
2. Резник Н.И., Берестнева О.Г., Алексеева Л.Ф., Шевелев Г.Е. Вопросы образования: Инвариантный подход. Компетентностный подход.– Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 461 с.;
3. Л. А. Бессонов. Теоретические основы электротехники. — 9-е изд. — М.: Высшая школа, 1996;
4. "RF Coils, Helical Resonators and Voltage Magnification by Coherent Spatial Modes" by Kenneth and James Corum;
5. Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М. Теория поля. — Издание 7-е, исправленное. — М.: Наука, 1988;
6. О.С. Литвинов, К.Б. Павлов, В.С. Горелик. Электромагнитные волны и оптика. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана.
7. Tesla’s lectures before the Institution of Electrical Engineers (London) and the Royal Institution (London),February 3 and 4, 1892;
8. Hyper and Ultra High Frequency Engineering, by R. Sarbacher and E.W. Edson, Wiley, 1943;
9. Быков В.Л. Глава 4. Кожа и её производные // Частная гистология человека. — СПб: Сотис, 2001. — С. 56-70. — 304 с. — 3000 экз. — ISBN 5-85503-116-0;
10. Улащик В. С. Универсальная медицинская энциклопедия. Физиотерапия. — Книжный дом, 2008. — 640 с. — ISBN 978-985-489-713-4;
11. ГОСТ 28139-89 Оборудование школьное. Общие требования безопасности;
12. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям и организации обучения в общеобразовательных учреждениях. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.4.2.2821-10;
13. Инструкция по охране труда при проведении демонстрационных опытов по физике ИОТ-008-2004;
14. СанПиН 2.4.2.1178-02 «Гигиенические требования к условиям обучения в общеобразовательных учреждениях»;
15. «Правила безопасности труда для кабинетов (лабораторий) физики общеобразовательных школ» (Приложение к письму Минпроса РСФСР от 11 апреля 1983 г. № 96-М);
16. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)».

СПОСОБ КОНТРОЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СБИС С ПОМОЩЬЮ АЦП, ПОСТРОЕННОГО НА ЛИНЕЙКЕ ИНВЕРТОРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В КАЧЕСТВЕ КОМПАРАТОРОВ

Самаев А. С.
Россия, г. Москва, МГТУ им.Н.Э.Баумана,

METHOD VLSI PRODUCTION CONTROL WITH AN ADC, BUILT ON THE RULER INVERTER USED AS A COMPARATOR

Samaev A.S.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация
Статья посвящена обобщенному анализу способа контроля производства СБИС с помощью мало разрядных АЦП, построенных на линейке инверторов, используемых как компараторы. Кратко проанализированы схемы малоразрядных АЦП, построенные на линейке инверторов, используемых как компараторы и их отличительные особенности. Приведено обоснование применения такого рода АЦП в контроле ширин затворов транзисторов при производстве микросхем. Приведены графики работы смоделированных схем малоразрядных АЦП, построенных на линейке инверторов, используемых как компараторы, которые показали работоспособность такого рода АЦП и использовании его в контроле производства СБИС. В заключении представлены общие принципы работы инверторов, используемых как компараторы.

Abstract
The article is devoted to the analysis of the generalized method of controlling the production of VLSI using a little bit ADC, built on the line of inverters used as a comparator. Short circuit analyzes low-bit ADC, built on the line of inverters used as a comparator, and their distinctive features. The substantiation of the use of this kind of ADCs in the control gate width of transistors in the chip manufacturing. Graphs work schemes modeled low-bit ADC, built on the line of inverters used as a comparator, which showed this kind of performance ADC and its use in controlling the production of VLSI. Finally presents the general principles of inverters used as a comparator.

Введение

В настоящее время широко используются сверх большие интегральные схемы (СБИС), содержащие на одном кристалле аналоговую и цифровую части, так называемые системы-на-кристалле [1]. В состав систем-на-кристалле, как правило, входят интерфейсные устройства, в частности АЦП [2]. При реализации АЦП актуальными задачами являются уменьшение площади, занимаемой схемой на кристалле и снижение потребляемой мощности [3-5]. Одним из компромиссных решений АЦП являются конвейерные схемы [4-6]. В большинстве практических применений конвейерный АЦП реализуется на основе параллельного АЦП с разрядностью не более 3–4 бит [5, 6]. Однако схема параллельного АЦП требует использования прецизионных резисторов в делителе напряжения и компараторов, что обуславливает значительную площадь, занимаемую схемой на кристалле и высокую потребляемую мощность [3, 7]. В работах при реализации параллельного АЦП предложена замена резистивного делителя напряжения и компараторов КМОП-инверторами, что позволяет уменьшить площадь схемы на кристалле и снизить потребляемую мощность. Особенностью данных схем является наличие различных ширин затворов используемых транзисторов, что позволяет применять дынные схемы в контроле производства микросхем.

1 Компараторы на основе КМОП инверторов

При заданной для изготовления схемы МОП-технологии разработчик имеет возможность выбирать длину и ширину затворов МОП-транзисторов. В случае реализации

КМОП-инвертора варьирование этих параметров приводит к изменению напряжения порога переключения схемы. При увеличении отношения длина/ширина затворов для затвора МОП-транзистора с p-каналом напряжение порога переключения увеличивается, напротив, при увеличении отношения длина/ширина затворов для затвора МОП транзистора с n-каналом напряжение порога переключения уменьшается [8]. В роли компаратора КМОП-инвертор можно рассматривать, если проводится сравнение входного напряжения Uвх с напряжением Uпер. При Uвх < Uпер выходное напряжение инвертора будет соответствовать логической единице, а при Uвх > Uпер выходное напряжение инвертора будет соответствовать логическому нулю.

2 Применение АЦП, построенного на инверторах, используемых как компараторы в контроле производства микросхем

Во время производства микроэлектронных приборов наблюдаются отклонения по многим параметрам, что приводит к выпуску брака. Для уменьшения брака применяют различные методики контроля, как во время производства, так и выборку готовых изделий на предмет брака. Ниже будет изложено применение тестовой ячейки параметрического монитора для оперативного контроля состояния технологического процесса производства КМОП СБИС с субмикронными размерами элементов в виде мало разрядного АЦП, построенного на линейке инверторов, используемых как компараторы.

Данная архитектура АЦП была выбрана из-за её характеристик. На рисунках ниже показана схема и график, на котором изображен пример переключения состояния данной схемы в зависимости от входного напряжения.

Рисунок 1 представляет собой схему, состоящую из двух инверторов. Первый инвертор используется в качестве компаратор и имеет различные ширины затворов p и n транзисторов. Второй инвертор используется в качестве буфера для «обострения» состояния переключения.

На графике (рисунок 2) видно смещение напряжения переключения состояния инверторов от половины напряжения питания.

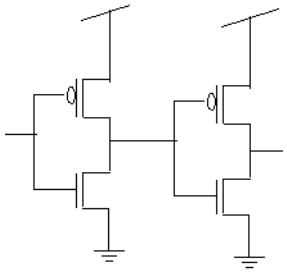


Рис. 1. Схема инвертора с выходным буфером

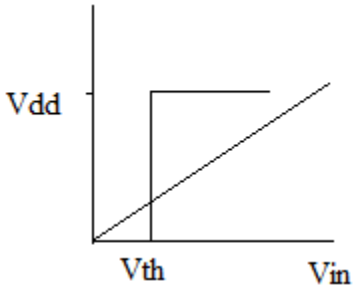


Рис. 2. График передаточной характеристики инвертора и различными ширинами затворов транзистора

Это обусловлено различием размеров ширин затворов применяемых в построении входного инвертора p и n транзисторов. Рассчитав размеры ширин затворов транзисторов для нескольких инверторов, можно подобрать их пороги срабатывания с определенным интервалом, что позволит использовать их в качестве АЦП.

Используя Cadance в качестве программного обеспечения, предназначенное для моделирования, можно достаточно точно подобрать значения ширин затворов транзисторов, что позволит построить на них более многоразрядное АЦП с лучшими параметрами.

На рисунке 3 показан примерный график срабатывания нескольких инверторов с различными размерами ширин затворов p и n транзисторов. В данном случае, инверторы,

работая как компараторы, будут выдавать «температурный код», переходы в котором связаны с переключениями инверторов.

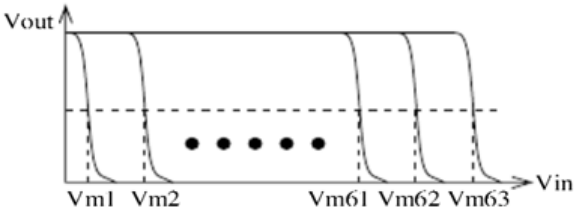


Рис. 3. График передаточных характеристик нескольких инверторов с различными ширинами затворов транзисторов

Таким образом, контролируя отклонения смещения переключения инверторов от номинала, мы получаем возможность контроля изготовления транзисторов с заданной шириной.

Заключение

В статье был рассмотрен способ контроля технологического процесса производства с помощью АЦП, построенных на инверторах, используемых как компараторы. Данное решение позволит проконтролировать качество производства множество транзисторов, занимая при этом наименьшую площадь при изготовлении кристалла микросхемы.

Литература

1. Шведов С. В., Гришков В. Н. Проектирование аналого-цифровых компонентов для «систем в корпусе» // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем – 2010. Сб. трудов – М.: ИППМ РАН, 2010. С. 503 – 506.
2. Крутчинский С. Г., Баранов Р. Г. Аналого-цифровые интерфейсы смешанных систем на кристалле // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем – 2008. Сб. трудов – М.: ИППМ РАН, 2008. С. 354 – 359.
3. Nahata S., Kyusun Choi, Jincheol Yoo. A high-speed power and resolution adaptive flash analog-to-digital converter // Proc. IEEE Int. SOC Conf., 2004. P. 33 – 36.
4. Mohajerin M., Chen C., Abdel-Raheem E. A new 12-b 40 ms/s, low-power, low-area pipeline ADC for video analog front ends // 2005 IEEE Pacific Rim Conf. on Communications, Computers and Signal Processing, 2005. P. 597 – 600.
5. Bogner P. A 28mW 10b 80MS/s pipelined ADC in 0.13μm CMOS // Proc. of the 2004 Int. Symp. on Circuits and Systems, 2004. Vol. 1. P. I – 17 – 20.
6. Агрич Ю. В., Лифшиц В. Б. Архитектура быстродействующих конвейерных АЦП, оптимизированная под субмикронные технологии // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем – 2010. Сб. трудов – М.: ИППМ РАН, 2010. С. 497 – 502.
7. Пятак И. М., Морозов Д. В., Пилипко М. М. Схемное решение блока компараторов двухразрядной ячейки конвейерного АЦП // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2011. №5 (133). С. 49 – 52.
8. Морозов Д.В., Пилипко М.М., Пятак И.М. Двухразрядный параллельный преобразователь для конвейерного АЦП // ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет». 2012. С. 6.

ГЕНЕРАЦИЯ НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ МЕТОДОМ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Сарайкин Д. С.
Научный руководитель: доцент Соловьев В.А.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

GENERATION OF NEW TECHNICAL SOLUTIONS WITH MORPHOLOGICAL ANALYSIS

Saraykin D. S.
Scientific adviser: Soloviev V.A.
BMSTU, department IU4, Moscow, Russia

Аннотация
В статье рассматриваются математические методы, используемые в реализации морфологического анализа. Подробно исследован процесс проектирования с применением морфологических таблиц. Кратко описаны различные морфологические таблицы. В заключении представлены рекомендации по использованию морфологического анализа при генерации новых технических систем.

Abstract
The article deals with the mathematical methods used in the implementation of the morphological analysis. The design process with usage of morphological tables was studied in detail. Different morphological tables were briefly described. Recommendations on the use of morphological analysis in generation of new technical systems were given in the end of the article.

Введение

Морфологический анализ является одним из наиболее эффективных методов генерации новых технических решений, регулярно требуемых в инженерной деятельности [1]. Математическое моделирование этого анализа необходимо для обработки большого объема данных, используемых в процессе синтеза технических систем.

В первое время после появления метода морфологического анализа использовались таблицы малой размерности, что позволяло обходиться без каких либо вычислений. В данной работе предлагаются математические методы, с помощью которых можно быстро и эффективно обрабатывать сложные морфологические таблицы большой размерности.

Целью данной работы является обоснование пользы морфологического анализа в проектировании технических систем, а также описание обработки сложных морфологических таблиц. Данная работа является актуальной, так как существует необходимость в получении улучшенных технических систем на основе множества имеющихся технических решений и знаний.

1 Проектирование с применением морфологических таблиц

В морфологических таблицах, используемых в инженерной деятельности, содержится большое количество возможных вариантов технических решений [2]. Особенность выбранных признаков состоит, как правило, в их относительной разнородности и несопоставимости, так как они описывают различные свойства технической системы. Признаки могут различаться единицами измерения или быть безразмерными. В отличие от существующих процессов проектирования технических систем, в которых этапы структурного синтеза и параметрической оптимизации выполняются один за другим с выполнением условия (рис. 1).

$$t1 < t2 < t3 < t4 \tag{1}$$

В разработанной методологии некоторые процессы этапов структурного синтеза и параметрической оптимизации могут идти параллельно, при выполнении условий:

$$t1 < t2,\ t3 < t4,\ t2 > t3,\ t2 > t_p > t3, \tag{2}$$

где tp – передача данных.

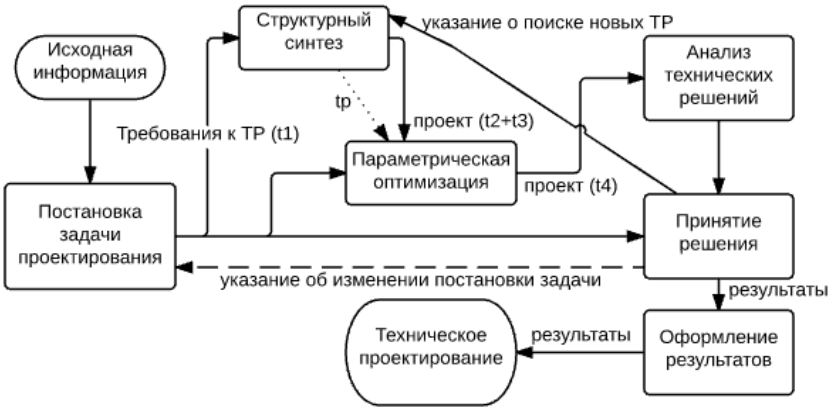


Рис. 1. Процесс проектирования

Параллельность выполнения работ позволяет уменьшить время, затрачиваемое на формирование облика создаваемой технической системы, и тем самым увеличить эффективность процесса проектирования в целом. После окончания этапа структурно синтеза задания для этапа параметрической оптимизации при необходимости уточняются и корректируются.

В исследуемом объекте выделяют множество основных признаков Pp. В зависимости от вида задачи из этого множества признаков выбираются существенные Pn, т. е. способные сильно повлиять на решение задачи.

$$P_n \le P_p \tag{3}$$

Например, множество признаков Pp может выявляться из формул изобретений или в случае летательных аппаратов из массовых формул. Для каждого признака выбирают элементы, т.е. возможные варианты его исполнения (рис. 2).

Элементы признаков ->

Признаки ↓	P^1	P^2	P^3	$\dots$	P^k
P_1	P_1^1	P_1^2	P_1^3	$\dots$	P_1^k
P_2	P_2^1	P_2^2	P_2^3	$\dots$	P_2^k
P_3	P_3^1	P_3^2	P_3^3	$\dots$	P_3^k
$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
P_n	P_n^1	P_n^2	P_n^3	$\dots$	P_n^k

Рис. 2. Морфологическая таблица

Комбинируя элементы признаков между собой можно получить множество различных технических решений (вариантов). Общее число вариантов n содержащихся в матрице равно:

$$n = R_1 * R_2 * \dots * R_j, \tag{4}$$

где Ri (i=1,j) – число значений P1, P2,…Pk элементов соответствующего признака Pn. Морфологическое множество вариантов технических решений:

$$X_{\text{М}} = \{x_M, i = 1, n\}, \tag{5}$$

где n – число вариантов технических решений (мощность морфологического множества), т.е. |Xм|=n; Xmi – i-ый вариант технического решения.

2 Использование эвристических трансформационных процедур для формирование морфологических таблиц

Для повышения эффективности поисковых исследований необходимо сочетание различных морфологических таблиц и способов их обработки. Далее будут рассмотрены основные из них.

1) Таблица «Критерии»

Для получения возможности количественного сравнения технических решений можно воспользоваться критериями нужного изобретения (рис. 3). При замене целей на критерии, последние становятся количественные модели качественных идей [3]. Критерии делятся на группы (функциональные критерии, экономические, социальные и т.д.) [4].

Для признаков технических решений P1, P2,… Pn составляют таблицы критериев, каждый из которых получает весовой коэффициент в зависимости от стоящей задачи, определяют весовые коэффициенты относительно важности критериев. Расчет весовых коэффициентов:

$$G = \frac{\text{Баллы}}{\text{Все_баллы}} * 100 \tag{6}$$

2) Таблица «Несочитаемости»

Строится при большой размерности задачи в том случае, если имеются не сочетаемые друг с другом элементы различных признаков. Цель такой таблицы (рис. 3) – уменьшение размерности матрицы. На рис. 4 показаны две пары несовместимых элементов признаков.

3) Таблица «Базовое множество»

Данная таблица (рис. 5) строится для оценки нововведений каждого технического решения. При просмотре сгенерированных вариантов оригинальные элементы не попадают в базовое множество. При генерации вариантов можно будет выделить «экзотические» и «существующие» варианты.

4) Таблица «База данных существующих технических решений»

В этой таблице содержатся опорные варианты, т. е. уже существующие технические решения. Они заносятся в дополнительные таблицы. Так в таблицу на рис. 6 занесены два опорных варианта.

бальная степень соответствия критерия

	P^1	P^2	P^3	P^4	P^5
P_1	6	5	9	2	1
P_2	5	3	4	3	3
P_3	4	3	2	7	9
P_4	2	3	3	4	2
P_5	x	x	x	x	x

отсутствие оценки

Рис. 3. Критериальная таблица

	P^1	P^2	P^3	P^4
P_1	P_1^1	P_1^2	P_1^3	
P_2	P_2^1	P_2^2	P_2^3	P_2^4
P_3	P_3^1	P_3^2	P_3^3	P_3^4
P_4	P_4^1	P_4^2	P_4^3	P_4^4

Рис. 4. Таблица несочитаемости

	P^1	P^2	P^3	P^4
P_1	P_1^1 ●	P_1^2	P_1^3	
P_2	P_2^1	P_2^2 ●	P_2^3	P_2^4
P_3	P_3^1	P_3^2 ●	P_3^3	P_3^4
P_4	P_4^1	P_4^2	P_4^3 ●	P_4^4

● - базовое множество

Рис. 5. Таблица базовое множество

	P^1	P^2	P^3	P^4
P_1	P_1^1	P_1^2	P_1^3	
P_2	P_2^1	P_2^2	P_2^3	P_2^4
P_3	P_3^1	P_3^2	P_3^3	P_3^4
P_4	P_4^1	P_4^2	P_4^3	P_4^4

Рис. 6. Таблица база данных существующих технических решений

5) Расчет средней меры сходства.

Для всех вариантов рассчитывается расстояние Хемминга, т. е. расстояние Рн между двумя техническими решениями Xi и Xj с одинаковым набором признаков определяется как число позиций, в которых элементы признаков не совпадают:

$$p_{\text{н}}(x_i, x_j) = \sum_{k=n}^{n} | x_{ki} - x_{kj} |,$$

$$p_{\text{н}}(\overline{x_i}, \overline{x_j}) \geq 0, \; p_{\text{н}}(\overline{x_i}, \overline{x_i}) = 0, \; p_{\text{н}}(\overline{x_i}, \overline{x_j}) = p_{\text{н}}(\overline{x_j}, \overline{x_i}), \tag{7}$$

$$p_{\text{н}}(\overline{x_i}, \overline{x_j}) \leq p_{\text{н}}(\overline{x_i}, \overline{x_k}) + p_{\text{н}}(\overline{x_k}, \overline{x_j}).$$

Так для опорных вариантов из рис. 6 расстояние Хемминга равно двум. Для вариантов рассчитывается мера сходства. Мера сходства есть нечеткая, неотрицательная вещественная функция:

$$S(\overline{x_i}, \overline{x_j}) = S_{ij} \tag{8}$$

Средняя мера сходства Sr всех вариантов рассчитывается по формуле:

$$Sr = \frac{\sum_{k=1}^{m} S_k}{m}, \tag{9}$$

где m – число всех вариантов множества Xr.

Заключение

В результате изучения метода морфологического анализа удалось получить все необходимые данные. Была доказана польза генерации технических решений методом морфологического анализа в процессе проектирования. Преимуществом морфологического подхода по сравнению с другими является возможность параллельного выполнения работ. У предложенного метода нет границ применения в процессе изобретательства.

Были представлены основные морфологические таблицы и методы их обработки. Для наиболее эффективного применения предложенной математической модели необходимо использовать машинный метод обработки данных. Таким образом, возникает новая задача по созданию программы, берущей на себя задачу генерации новых технических решений.

Литература

1. Сарайкин Д. С. Использование морфологического анализа при разработке несущих конструкций ЭА // Молодежный вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. Машиностроительные технологии. 2016. № 2. С. 6.
2. Раков Д. Л. Структурный анализ и синтез новых технических систем на базе морфологического подхода. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. — 160 с.
3. Беляев И. П. Основы принятия решений. — М.: МГСУ, 2008. — 156 с.
4. Саати Т. Л. Принятие решений. Метода анализа иерархий. . — М.: Радио и связь, 2009. — 316 с.

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЧАСЫ НА СЕМИСЕГМЕНТНЫХ ЛАМПОВЫХ ИНДИКАТОРАХ

Щукин И.В.
Научный руководитель: Гриднев В.Н.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ-4, Москва, Россия

ELECTRONIC CLOCK ON SEVEN-SEGMENT LAMP INDICATORS

Shchukin I.V.
Supervisor: Gridnev V.N.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В данной статье рассматривается проектирование электронных часов на сегментном индикаторе с использованием микроконтроллера STM32. Приведен ряд проблем, с которыми можно столкнуться при разработке данного устройства, и пути их решения. Показаны принципиальные схемы, разводка ПП и перечень необходимых компонентов для изготовления.

Annotation
This article discusses the design of the electronic clock on the segment display using the STM32 microcontroller . An number of problems that may be encountered in the development of this device , and their solutions . Is a schematic diagram and PCB layout of the list of required components for manufacturing.

Электронные часы на микроконтроллере

Так как разрабатываемое устройство является микропроцессорной (микроконтроллерной) системой, то центральным блоком является блок управления устройства, то есть микроконтроллер, для которого будет разра¬ботана программа управления устройством.

Для отсчета времени необходимо либо программная реализация сче-та времени, либо использование отдельной, предназначенной именно для таких целей микросхемы. В данном случае будет использоваться второй вариант, так как микросхема имеет возможность резервного питания, что позволит со¬хранить информацию при отсутствии автономного и сетевого питания.

Для уменьшения количества задействованных выходом МК, исполь-зуется импульсный/поочередный принцип управления ВЛИ, с помощью специальных транзисторно-транзисторных ключей.

Выбор блока индикации

Для данного устройства необходимо осуществлять вывод на индика-тор значений времени в формате: ЧЧ.ММ.СС. На каждое из чисел выде-лятся два ВЛИ.

В роли индикаторов по ТЗ должны быть ИЛМ-2. Блок управления индикаторами по ТЗ должен быть основан на МК STM32. По техническим характеристикам питание у ВЛИ состоит из 2-х разных источников: источ-ник питания накалов индикатора на 3 В / 150 мА, источник питания анодов на напряжение, до 30 В / 10 мА (суммарный ток), рекомендуется исполь-зовать источник напряжения на 24 В для увеличения срока службы ВЛИ и оптимальной яркости свечения индикатора.

Исходя из того, что было выбрано импульсное управление индикаторами, необходимо выбрать частоту обновления информации на индика-торах, которая должна быть больше 50 Гц для того, чтобы обновление не было видно человеческим глазом.

Выбор элементной базы для обеспечения питания устройства

Для возможности автономной работы для питания был выбран ак-кумулятор литиево-ионный на 3,7 В. Для его работы необходимо зарядное устройство, которое будет питать устройство при подключении внешнего источника питания и заряжать аккумулятор. Зарядное устройство MCP73831T-2 было выбрано из-за возможности зарядки устройства от USB и низкой стоимости.

Для питания ВЛИ нужен источник питания 3 В / 150 мА и 24 В /10 мА. Питание накалов подается напрямую от стабилизатора MCP1700T-3. Питание анодов подается от повышающего DC-DC преобразователя на MC34063.

Для МК необходим источник питания 3 В / 0.1 А с минимальной пульсацией напряжения от стабилизатора MCP1700T-3.

Также для стабилизации в схеме используется входной фильтр высо-ких частот на конденсаторе C19, фильтр питания накала лампы, который состоит из конденсатора C4 и C5, а также в схеме используется три кон-денсатора C8, C11, C13 для фильтрации питания МК.

Выбор микросхемы блока управления

Для обслуживания всех описанных блоков был выбран микро-контроллер STM32F051 из-за большого функционала и низкой себестои-мости. Для решения данной задачи необходимо 17 портов вывода для управления индикатором, 4 порта вывода для индикации состоянии устройства, 5 порта ввода для получения сигнала с кнопок управления, выход для пьезоизлучателя и один вход для датчика освещенности. В дан-ном МК есть часы реального времени, что упрощает задачу хранения, из-менения, вывода времени. Также здесь присутствуют 10 таймеров различ-ного назначения, с помощью которых можно выполнять прерывания или генерировать сигналы. Дополнительная периферия, такие как АЦП, ЦАП и внутренние температурный датчик и датчик напряжения дают возмож-ность для дальнейшего улучшения устройства.

Блок индикации

В роли индикаторов, как было сказано ранее используются ВЛИ ИЛМ-2. Эти индикаторы имеют напряжение питания анодов больше, чем может обеспечить МК, следовательно необходимо использовать драйвер для управления индикаторами. Для этого был разработан транзисторно-транзисторный ключ (ТТК), который представляет собой каскад из N-канального и P-канального полевых транзисторов и 2-х резисторов. Дан-ный ключ имеет низкое напряжение срабатывание, высокий КПД, высокую скорость срабатывания (эти параметры приведены ниже при моделирова-нии схемы) и коммутируемое напряжение до 50 В.

Данный ТТК был разработан из-за того, что на каждый анод необ-ходимо установить положительный потенциал. То есть на выходе ТТК должен быть положительный потенциал, относительно земли.

Разработка алгоритма и исходного кода программы

Для реализации алгоритмов необходимых для управления разрабатываемым устройством был выбран язык программирования «СИ». Все алгоритмы можно разделить на несколько групп:

- инициализация;
- отображение времени на ВЛИ;
- переход в разные режимы работы часов;
- редактирование времени.

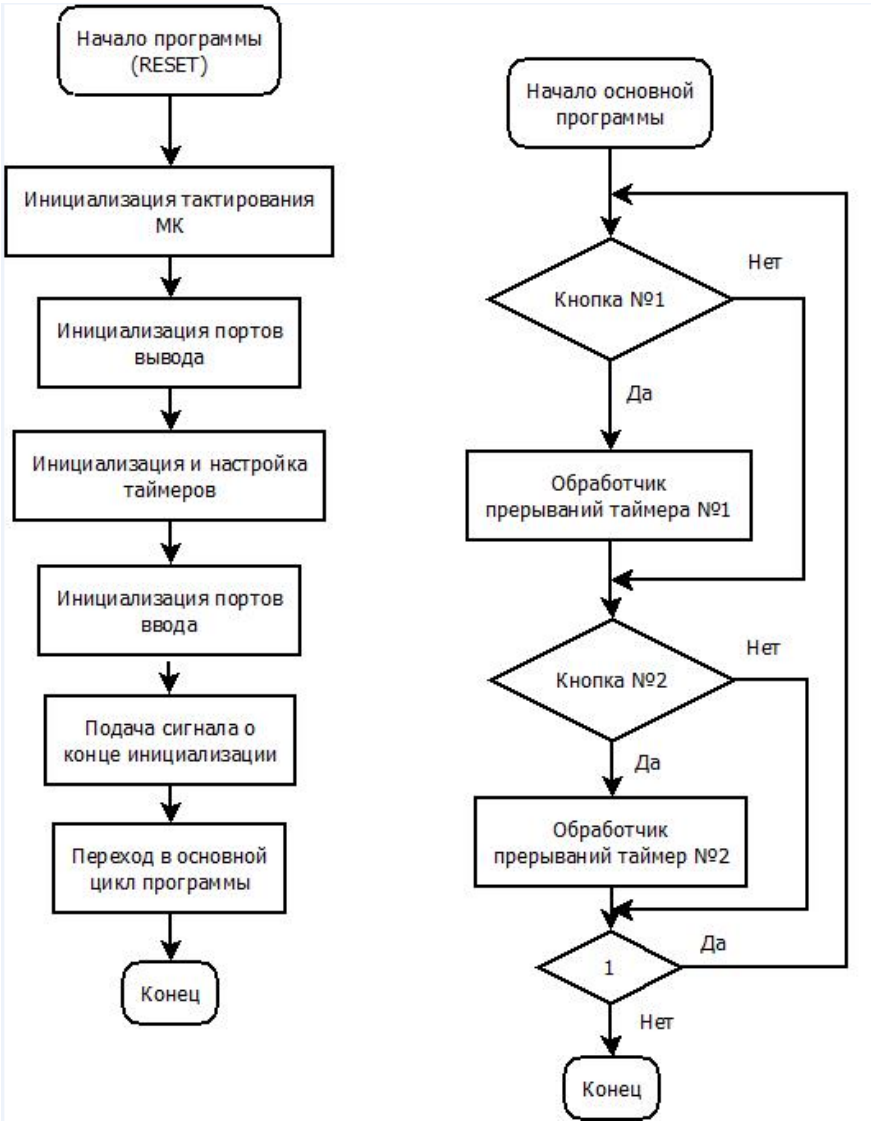


Рис. 1. Алгоритм инициализации и основного цикла программы (часть 1)

Полученная программа размещена во Flash-памяти контроллера, и ее размер составляет 11 187 байт. Устройство управления (МК) по¬лучает информацию от периферийных устройств и передает информацию на ВЛИ с помощью драйвера.

Время (часы, минуты, секунды) МК получает из регистров часов ре-ального времени, после чего эта информация сохраняется в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ). Далее информация обрабатывается – преобразуется в двоично-десятичный код (Binary-Coded Decimal, BCD) и передается на драйвер управления ВЛИ. Преобразование в BCD необхо-димо для отображения информации на ВЛИ в форме, понятной пользова-телю. Время на ВЛИ обновляется в импульсном режиме с помощью тай-мера обновления информации. Данный таймер получает данные в нужном формате для отображения на индикаторах, выключает питание всех инди-каторов, на шине данных, которая представляет собой 7 ТТК, которые подключены к разным сегментам всех ВЛИ, устанавливается необходимая последовательность битов, что представляет собой число, отображаемое на семи сегментном индикаторе. Далее открывается ключ, который управ-ляет необходимым индикатором, то есть подается напряжение на сетку ВЛИ, после чего на индикаторе появляется число. После этого все порты сбрасываются. Данная операция повторяется периодически с частотой 50 Гц, для каждого индикатора, то есть в сумме частота прерывания у данно-го таймера составляет 300 Гц. Этого достаточно, чтобы не было мерцания индикаторов и необходимо для снижения

энергопотребления (при боль-шей частоте уменьшается яркость свечения индикаторов из-за паразитных емкостей и увеличивается потребление тока). На рис. 7 показана осцилло-грамма, демонстрирующая работу данного таймера по обновлению ин-формации на индикаторах. Частота обновления < 50 Гц из-за нескольких факторов:

– точность тактирования таймера низкая;
– на выполнение промежуточных действий МК требуется время.

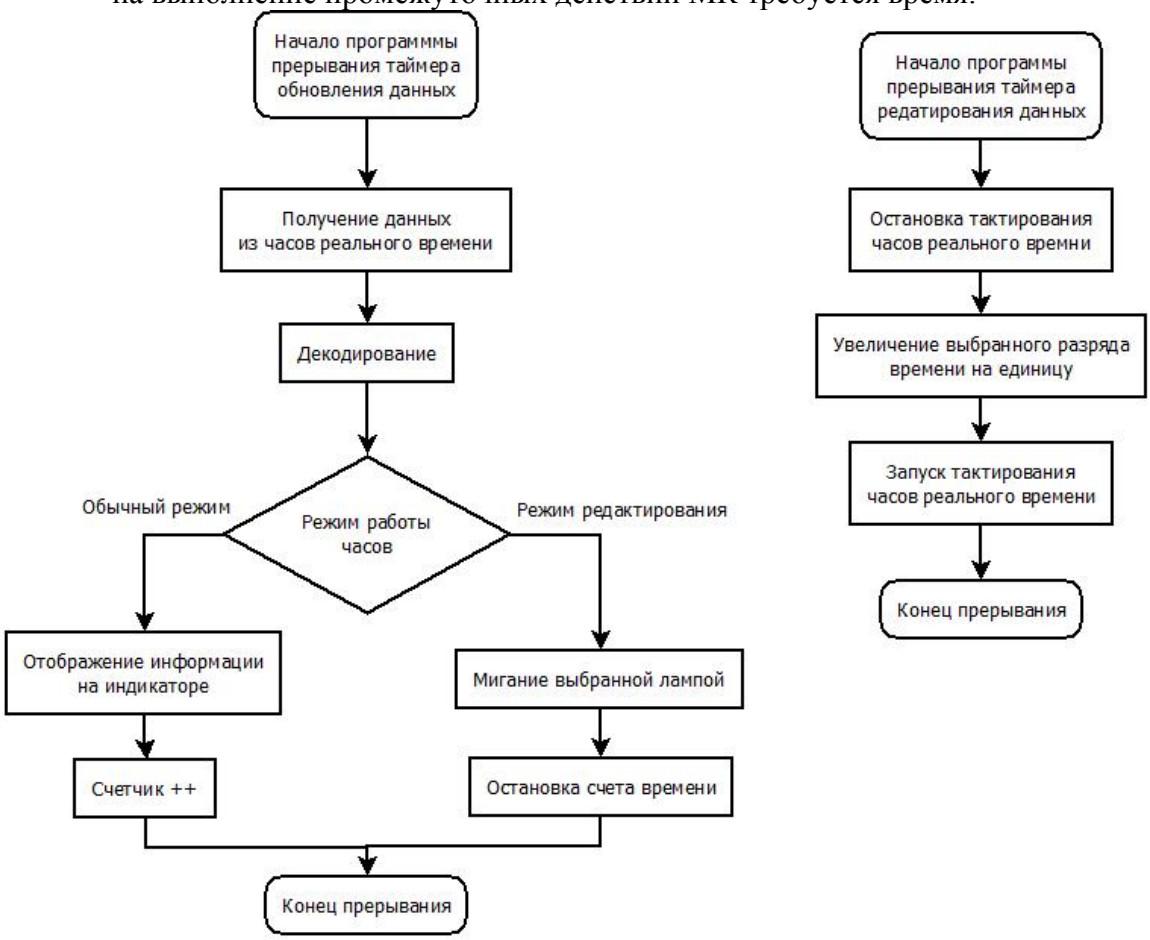


Рис. 2. Алгоритм инициализации и основного цикла программы (часть 2)

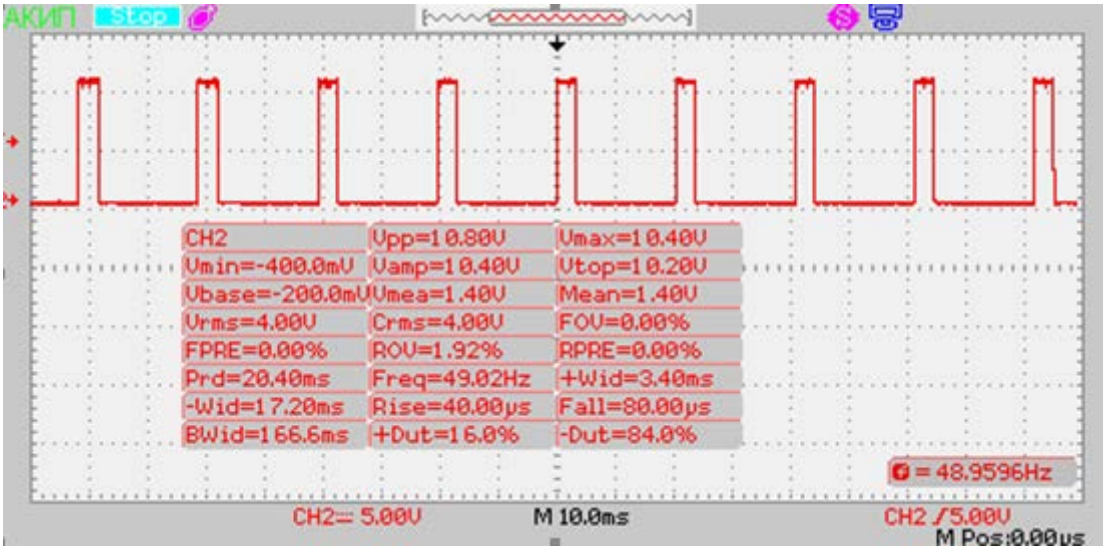


Рис. 3. Осциллограмма сигнала обновления информации

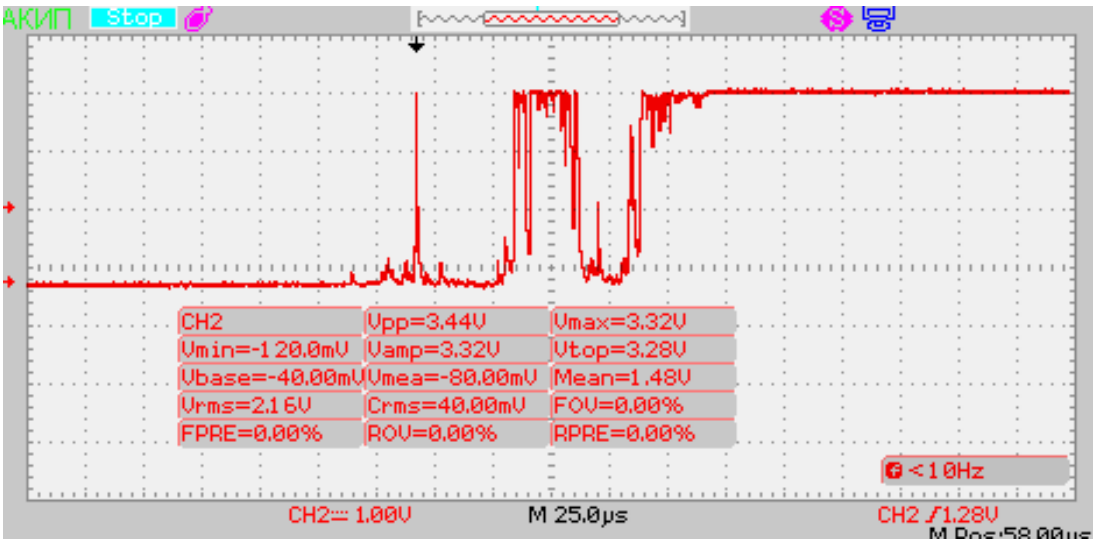


Рис. 4. Осциллограмма показывающая “дребезг контакта”

Выполнение программы микроконтроллера начинается непосредст-венно при подключении питания к схеме, после чего МК сбрасывает все параметры в начальное состояние, то есть очищает ОЗУ. После сброса в начальное состояние начинается выполнение программы. Первым этапом идет инициализация всей необходимой периферии, входов/выводов. Далее контроллер пе¬реходит в основной цикл программы – бесконечный цикл, который повторя¬ется все время работы устройства. В этом цикле прово-дится считывания нажатия кнопки для перехода в разные режимы управ-ления МК. После нажатия на одну из двух кнопок вызывается прерывание таймера, который отвечает за обработку сигнала нажатия кнопки. Исполь-зование таймера для нажатия кнопки обусловлено тем, что у контактных кнопок есть “дребезг контакта”, что создает многочисленные ложные им-пульсы при нажатии или при отпускании, как показано на рис. 3

При нажатии на кнопку запускается таймер, который создает за-держку по времени, с помощью чего можно избежать ложных срабатыва-ний. То есть, когда на вход МК, к которому подключена кнопка, поступает высокий логический уровень, запускается таймер. По прошествии времени, на которое запрограммирован таймер (10 мс) анализируется сигнал на входе МК. Если сигнал все еще присутствует, значит кнопка нажата, если же отсутствует, значит было ложное срабатывание.

Также в программе есть обработчик прерываний таймера, который необходим для обновления данных на ВЛИ. Этот таймер генерирует сиг-нал прерывания с частотой 50 Гц для обновления времени на всех 6-ти ВЛИ. Также он используется для мигания выбранным ВЛИ с периодом 1 секунда в режиме редактирования для того, чтобы было видно пользова-телю, какой из разрядов в данное время редактируется. Еще задействован таймер для считывания сигнала со 2-й кнопки. В нем также присутствует задержка для устранения “дребезга контактов”. Данный таймер использу-ется для увеличения цифры в редактируемом разряде времени, когда часы находятся в режиме редактирования времени.

Литература

1. Й. Янсен, Курс цифровой электроники. Том 2. Проектирование устройств на цифровых ИС, Издательство: М.: Мир, 1987 г.
2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники в 2-х томах, Издательство «Мир». Редакция литературы по информатике и электронике, 1986 г.
3. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для Вузов / К.И. Билибин, А.И.Власов, Л.В.Журавлева и др. Под общей редакцией В.А. Шахнова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. – 528 с.: ил.
4. Гриднев В.Н., Гриднева Г.Н. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ СТРУКТУР ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ - Москва, МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2014. Сер. «Конструирование и технология электронных средств». Том 2. – 344 с.
5. Хоровиц П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл; Пер. с англ. — 5-е изд., перераб. — М.: Мир, 1998. — 704 с., ил.
6. RM0091 Reference manual STM32F0x1/STM32F0x2/STM32F0x8 advanced ARM®-based 32-bit MCUs , STMicroelectronics, 2014. - 1010c.
7. SLLS636N –DECEMBER 2004–REVISED JANUARY 2015, MC3x063A Datasheet, Texas Instruments.
8. L78M00AB/AC series Datasheet, ST Microelectronics, 2006.
9. MC33269, NCV33269 Datasheet, ON Semiconductor, 2004.
10. BC807/BC808 Datasheet, Fairchild, 2002.
11. BC817; BC817W; BC337 , Philips, 2005.
12. Алексеев В.Г., Гриднев В.Н., Нестеров Ю.И., Филин Г.В. ТЕХНОЛОГИЯ ЭВА, ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ - Москва, Высшая школа. 1984.
13. Власов А.И., Гриднев В.Н., Константинов П., Юдин А.В. НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МЕТОДЫ ДЕФЕКТОСКОПИИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ // Электронные компоненты. 2004. № 8. С. 148-155.
14. Гриднев В.Н., Яншин А.А. ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭВА - Москва, высшая школа. 1978. 288 с.
15. Билибин К.И., Гриднев В.Н., Кузин Л.П. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ СБОРКИ МОДУЛЕЙ ЭВА ПЕРВОГО УРОВНЯ: Методические указания к курсовому проектированию по курсам: «Технология приборостроения и производства ЭВА» и «Технология приборостроения и производства РЭА» - Москва, МГТУ им.Н,Э.Баумана. 1988.
16. Миронова Ж.А., Шахнов В.А., Гриднев В.Н. ВЫСОКОПЛОТНАЯ КОМПОНОВКА ПРОВОДЯЩЕГО РИСУНКА МНОГОСЛОЙНЫХ КОММУТАЦИОННЫХ ПЛАТ // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Приборостроение. 2014. № 6 (99). С. 61-70.
17. ОПТИЧЕСКАЯ МИКРОСКОПИЯ. Под ред. В.А.Шахнова - Москва, Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2011. Сер. Библиотека "Наноинженерия" Том. 12. 181 с.

ОБЗОР СИСТЕМ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ АППАРАТУРЫ

Шаламов А. В.
Научный руководитель: Соловьев В. А.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

OVERVIEW OF THE CALCULATION OF THE RELIABILITY OF EQUIPMENT

Shalamov A. V.
Supervisor: Soloviev V. A.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация
Произведен обзор существующих систем расчета надехности электронной аппаратуры. Проведено сравнение их возможностей. Выделены основные достоинства и недостатки рассматриваемых систем.

Annotation
A review of existing systems of calculating the reliability of electronic equipment. A comparison of their features. The basic advantages and disadvantages of the systems in question.

Введение

В настоящее время на рынке систем расчета надежности существует много решений как зарубежного, так и российского производства. К наиболее популярным зарубежным системам расчета надежности можно отнести следующие: Relex, Risk Spectrum, A.L.D., ISOgraph. Из российских систем можно выделить системы: Арбитр, АСМ, АСОНИКА-К. Некоторые из приведенных систем помимо инструментов расчета параметров надежности позволяют решать широкий спектр связаных инженерных задач. Далее рассмотрим подробнее приведенные программные комплексы (ПК) с точки зрения применения их для расчета надежности ЭРА.

ПК Relex и Risk Spectrum ПК

Relex и Risk Spectrum позволяют проводить логико-вероятностный анализ надежности и безопасности технических систем, например, расчет надежности современных автоматизированных систем управления технологическими, оптимизацию техногенного риска и определение оптимальных параметров системы технического обслуживания потенциально опасных объектов. Основное применение ПК Risk Spectrum получил в вероятностном анализе безопасности объектов атомной энергетики на стадии проектирования. Комплекс Spectrum используется более чем на 50% атомных станций мира, включен в перечень программных средств, аттестованных Советом по аттестации программных средств Госатомнадзора России в 2003 г. ПК Relex и Risk Spectrum могут быть использованы для расчета надежности не только управляющих или технологических систем, но и изделий приборостроения на транспорте, в оборонной технике. В основе моделирования и расчета показателей надежности и безопасности технических систем, широко применяемых в Европе и США, лежат логико-вероятностные методы, использующие в качестве средства построения графических моделей надежности деревья событий и деревья отказов (рисунок 1).

Использование аппарата математической логики позволяет формализовать условия работоспособности сложных технических систем и расчет их надежности. Если можно утверждать, что система работоспособна в случае работоспособности ее элементов А и В, то можно сделать вывод о том, что работоспособность системы (событие С) и работоспособность элементов А и В (событие А и событие В) связаны между собой

логическим уравнением работоспособности: C = A∧B. Здесь обозначение ∧ используется для отображения логической операции И. Логическое уравнение работоспособности для данного случая может быть представлено схемой последовательного соединения элементов A и B. В общем случае под деревом событий понимается графическая модель, описывающая логику развития различных вариантов аварийного процесса, вызываемого рассматриваемым исходным событием. Под деревом отказов понимается графическая модель, отображающая логику событий, приводящих к отказу системы вследствие возникновения различных комбинаций отказов оборудования и ошибок персонала.

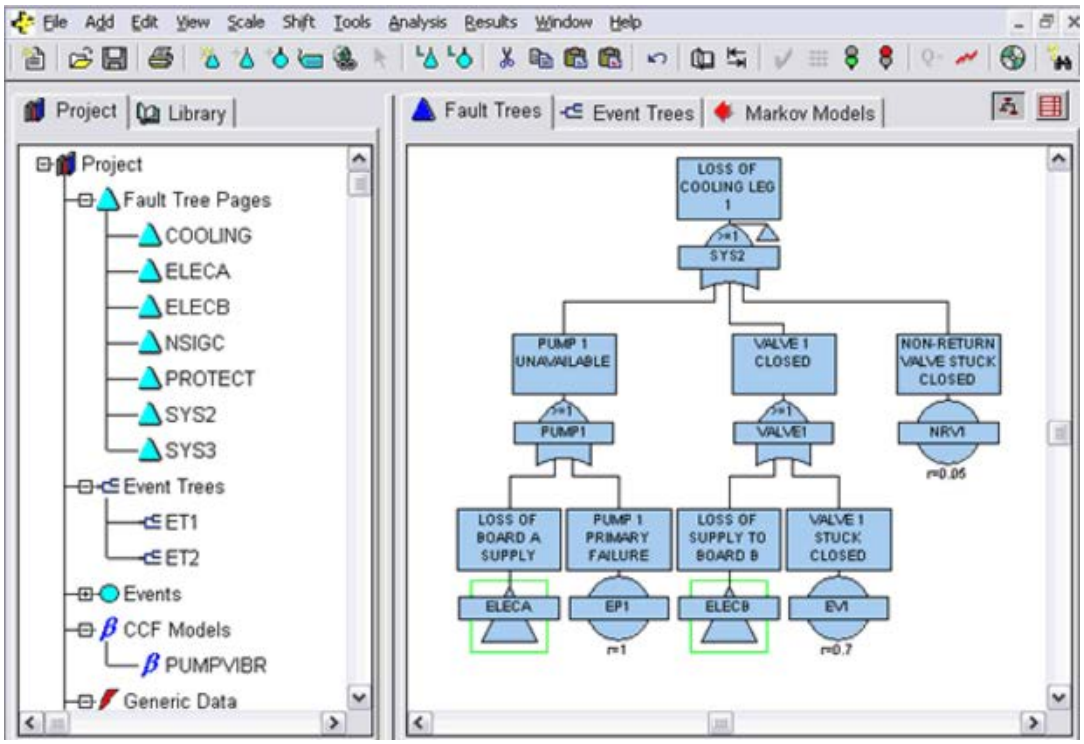


Рис. 1. Дерево отказов в ПК Relex

В состав дерева отказов входят графические элементы, служащие для отображения элементарных случайных событий (базисных событий) и логических операторов. Каждому логическому оператору булевой алгебры соответствует определенный графический элемент, что позволяет производить декомпозицию сложных событий на более простые (базисные или элементарные). В модуле дерева отказов ПК Relex используются логико-динамические операторы, учитывающие зависимость событий, временные соотношения, приоритеты. Он позволяет осуществлять расчет следующих показателей: вероятность отказа, неготовность, параметр потока отказов, среднее число отказов. Значения показателей вычисляются как для вершинного события, так и для каждого промежуточного. Для каждого выделенного события можно просматривать и анализировать наборы соответствующих минимальных сечений. В ПК Risk Spectrum дерево событий представляется в виде таблицы, содержащей строку заголовков, поле, в котором помещен разомкнутый бинарный граф, несколько столбцов с характеристиками конечных состояний моделируемого объекта, реализующихся в процессе осуществления аварийных последовательностей (рисунок 2). В заголовке 1-го столбца таблицы указывается обозначение исходных событий. В последующих заголовках столбцов слева направо размещаются названия и условные обозначения промежуточных событий, соответствующих успешному или неуспешному выполнению функций безопасности, работоспособным или отказовым состояниям систем безопасности или отдельных компонентов (оборудования и технических средств), правильным или ошибочным действиям персонала. В столбцах, характеризующих конечные состояния (КС), указываются их номера,

условные обозначения, типы (например, КС с повреждением активной зоны), вероятности реализации, логические формулы, соответствующие данным аварийным последовательностям (АП). С помощью АП на дереве событий отображаются варианты развития аварийного процесса. При этом под АП понимается последовательность событий, приводящих к некоторому конечному состоянию объекта, включающая исходное событие аварии, успешные или неуспешные срабатывания систем безопасности и действия персонала в процессе развития аварии.

С ПК Relex работают многие известные зарубежные компании: LG, Boeng, Motorolla, Dell, Cessna, Siemens, Raytheon, HP, Honda, Samsung, CiscoSystems, Nokia, EADS, 3M, NASA, Intel, GM, Kodak, AT&T, Philips, Pirelli, Quallcomm, Seagete, Emerson. В состав ПК Relex reliability studio 2007 входят различные аналитические модули для решения широкого спектра задач: прогнозирования безотказности, ремонтопригодности, анализа видов, последствий и критичности отказов, марковского анализа, статистического анализа, оценки стоимости срока службы оборудования, а также блок-схемы надежности, деревья отказов/событий, система оповещения об отказах, анализе и корректирующих действиях, FRACAS-система (Failure Reporting Analysis and Corrective Action System), система оценки человеческого фактора и анализа рисков.

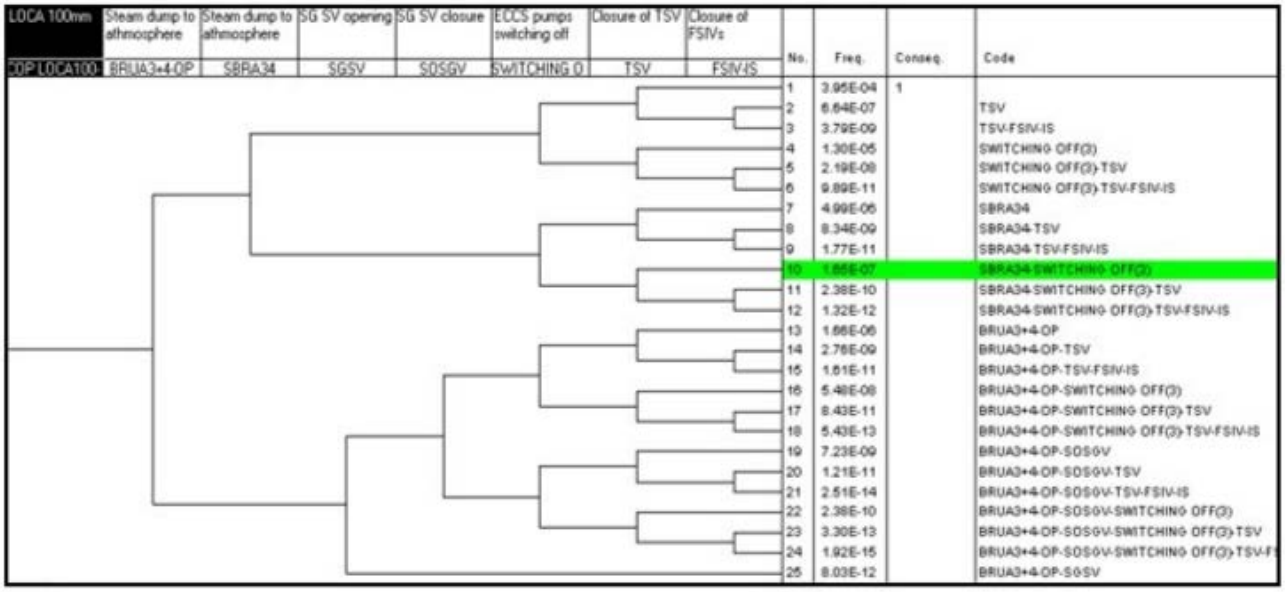


Рис. 2. Бинаное дерево событий в ПК Spectrum

Модуль прогнозирования безотказности содержит модели для расчета показателей надежности элементов. В него включена обширная база данных, содержащая классификационные признаки элементов и характеристики надежности. Расчеты проводятся в соответствии со стандартами: MIL-HDBK-217, Telcordia (Bellcore), TR-332, Prism, NSWC-98/LE1, CNET93, HRD5, GJB299. Модуль анализа ремонтопригодности реализует положения стандарта по исследованию ремонтопригодности систем — MIL-HDBK-472. Решаются задачи прогнозирования профилактики технического обслуживания. Модуль анализа видов, последствий и критичности отказов отвечает стандартам MIL-STD-1629, SAE ARP 5580 и др. Производится ранжирование опасных отказов и их оценка по приоритетам рисков. Модуль блок-схемы надежности (RBD, Reliability Block Diagram) используется для анализа сложных резервированных систем. Содержит как аналитические методы, так и методы моделирования Монте-Карло. Модуль деревья отказов/деревья событий позволяет реализовывать процедуры для дедуктивного и индуктивного анализа развития отказов, событий в системе. Применяется для анализа надежности и безопасности. Содержит широкий набор логико-функциональных вершин. Модуль марковского моделирования ПК Relex позволяет

использовать процессы, которые применяются в моделировании и анализе надежности систем. Разрабатываемые с помощью этого аппарата модели являются динамическими и отражают необходимые временные условия и другие особенности, зависимости, которые конкретизируют траекторию переходов системы в пространстве возможных состояний, образованных отказами, восстановлением элементов. В модуле ПК Relex Markov реализованы марковские процессы с дискретным множеством состояний и непрерывным временем, учитывающие следующие особенности функционирования и резервирования систем: несовместные виды отказов элементов, последовательность возникновения отказов, изменение интенсивностей отказов элементов в зависимости от уже происшедших событий (в частности, степень нагруженности резерва), количество бригад по восстановлению (ограниченное/неограниченное), очередность восстановления, ограничения на ЗИП, различную эффективность функционирования в различных состояниях системы и доходы (потери) за переходы в состояния. Вычисляемые показатели: вероятность каждого из состояний, вероятность безотказной работы (отказа) на заданном интервале времени. Модуль статистического анализа «Weibull» предназначен для обработки результатов испытаний, эксплуатации. Для описания катастрофических отказов на ваннообразной кривой интенсивности отказов широко используют нормальное, логнормальное распределения, распределение Вейбулла. Например, распределение Вейбулла, являющееся распределением минимальных величин, наиболее часто используется при прогнозировании вероятности безотказной работы и среднего времени наработки на отказ при заданном времени эксплуатации проектируемой сложной технической системы. Логнормальное и вейбулловское распределения одинаково хорошо описывают отказы, характерные для периода старения. Модуль статистического анализа «Weibull» использует различные виды распределений, включая нормальное, Вейбулла, логнормальное, равномерное, экспоненциальное, Гумбеля, Рэлея, биномиальное и другие. Представление и анализ данных для выбранных классов параметрических распределений проводится с использованием метода «вероятностной бумаги». На ней анализируемое распределение представляется прямой линией, что обеспечивает наглядность и позволяет естественным образом применять все методы регрессионного анализа, в частности, проверку адекватности модели и значимости коэффициентов регрессии (фишеровский анализ). Для оценок параметров распределений предлагается большой набор методов, например методы Хазена, Бенарда и их модификации, биномиальное оценивание, метод средних величин, метод максимального правдоподобия и его модификация. С помощью модуля экономических расчетов осуществляется оценка стоимости срока службы на всех этапах создания, эксплуатации, утилизации системы.

ПК АСМ

Наиболее известным из отечественных ПК является программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования (ПК АСМ). Теоретической основой является общий логико-вероятностный метод системного анализа, реализующий все возможности основного аппарата моделирования алгебры логики в базе операций «И», «ИЛИ», «НЕ». Форма представления исходной структуры системы — схема функциональной целостности, позволяющая отображать практически все известные виды структурных моделей систем. Комплекс автоматически формирует расчетные аналитические модели надежности и безопасности систем и вычисляет вероятность безотказной работы, среднюю наработку до отказа, коэффициент готовности, среднюю наработку на отказ, среднее время восстановления, вероятность отказа восстанавливаемой системы, вероятность готовности смешанной системы, а также значимость и вклад элементов в различные показатели надежности системы в целом. ПК АСМ позволяет также автоматически определять кратчайшие пути успешного функционирования, минимальные сечения отказов и их комбинации. В качестве основного достоинства российких систем перед зарубежными

стоит выделить более низкую стоимость внедрения и поддержки, отсутствие технологической зависимости и удобство подготовки персонала.

ПК АСОНИКА-К

Также на российском рынке представлена система АСОНИКА-К — программное средство решения задач анализа и обеспечения надежности в рамках автоматизированного проектирования РЭА. По своим возможностям подсистема АСОНИКА-К не уступает зарубежным ПК A.L.D. Group, Relex, Isograph и др. Преимуществом является возможность использовать при расчете готовую элементную базу производимую в этой стране, а также российские стандарты. Отвечает требованиям комплекса военных стандартов «Мороз-6» для РЭА ответственного применения и стандарту США MIL-HDBK-217 и стандарту КНР GJB/z 299B. АСОНИКА-К представляет собой программное средство, созданное в технологии «клиент-сервер». База данных серверной части ПК содержит непрерывно пополняемую информацию о надежности как отечественных, так и зарубежных изделий электронной техники, построенную на уникальных принципах, которые существенно облегчают задачу ее администрирования, в том числе: редактирование данных о надежности ЭРИ, редактирование математических моделей ЭРИ, добавление новых классов ЭРИ.

В состав программного комплекса АСОНИКА-К входят следующие подсистемы: система расчета характеристик надежности составных частей, система расчета показателей надежности изделий, система анализа результатов, система архивации проектов, справочная система, система сопровождения базы данных, система администрирования пользователей, система анализа и учета влияния на надежность внешних факторов, информационно-справочная система по характеристикам надежности компонентов современной сложно-вычислительной техники (СВТ) и ЭРИ. БД клиентской части ПК содержит информацию о проектируемой РЭА.

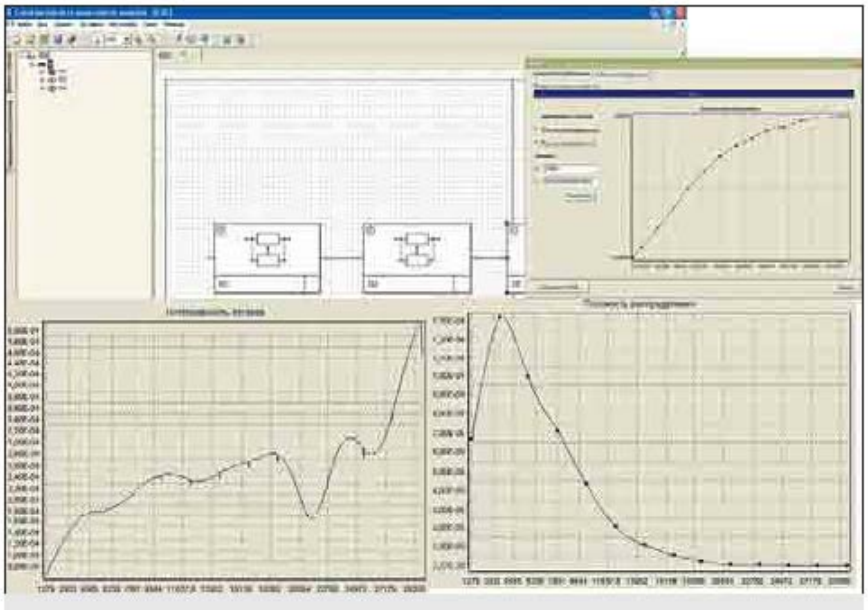


Рис. 3. Анализ резервирования в ПК АСОНИКА-К

Такая организация клиентской части позволяет проводить расчеты РЭА параллельно с нескольких рабочих станций. Клиентская часть программы имеет графический постпроцессор и интерфейсы с системами моделирования физических процессов и конструкторского проектирования, в том числе АСОНИКА-Т, P-CAD 2001, АСОНИКА-М и др. Математическое ядро ПК содержит в качестве модели надежности экспоненциальное и

DN распределения и может быть адаптировано к любой другой модели надежности. Оно позволяет рассчитывать РЭА, содержащие до четырех иерархических уровней разукрупнения и имеющие различные типы резервирования. Результаты расчетов могут быть представлены как в текстовом, так и в графическом виде. ПК АСОНИКА-К позволяет проводить следующие виды анализа расчета надежности: анализ результатов расчетов надежности РЭА, СРН которых представляет собой произвольное соединение составных частей (древовидное, иерархическое) и анализ результатов расчета составных частей, с последовательным соединением. Использование ПК АСОНИКА-К позволяет повышать надежность РЭА путем резервирования ее составных частей. На рисунке 3 показаны значения вероятности безотказной работы, коэффициент готовности и коэффициент оперативной готовности всего объекта в целом. Отказы составных частей являются внезапными и представляют собой независимые события, время до отказа является случайной величиной, распределенной по экспоненциальному закону с постоянной интенсивностью отказов λ. Также показаны функция и плотность распределения времени наработки на отказ, а также зависимость интенсивности отказов проектируемой РЭА с использованием графического анализа. ПК позволяет проводить расчет надежности с использованием различных видов резервирования составных частей: скользящее горячее резервирование, горячее резервирование и без резервирования, а также обеспечивает способы контроля их работоспособности (непрерывный/периодический).

В дальнейшем в ПК планируется добавить еще два модуля: система учета влияния на характеристики надежности внешних факторов и информационно - справочная система по характеристикам надежности элементной базы.

Заключение

ПК Relex, Risk Spectrum и АСМ реализуют класс моделей оценки показателей надежности технических систем — логико-вероятностного моделирования. Его можно назвать классом статистических моделей, так как они позволяют вычислять показатели надежности, безопасности и эффективности систем в произвольный момент времени, в зависимости от возможных наборов работоспособных и неработоспособных состояний элементов системы. Отдельные модули ПК A.L.D. Group (RAM Commander), Relex, Isograph возможно использовать для автоматизированного расчета надежности отечественной РЭА только лишь на базе импортных ЭРИ, оценка надежности которых ведется по различным зарубежным справочникам. Использование зарубежных ПК требует от пользователей высокой подготовки в области математической статистики и ее приложения к задачам теории надежности. Российские ПК не уступают по возможностям зарубежным ПК и может быть рекомендован для проведения расчетов надежности отечественной РЭА на базе как импортных, так и отечественных ЭРИ. Главное преимущество — возможность вести расчеты надежности, используя отечественные базы компонентов и стандарты.

Литература

1. Строганов А., Жаднов В., Полесский С. Обзор програмных комплексов по расчету надежности сложных технических систем – М., ВШЭ, 2007
2. Тихомиров М. В., Шалумов А. С. Оценка надежности и качества РЭС – М., 2010
3. Шалумов А. С. Приемущества АС обеспечения надежности и качества аппаратуры АСОНИКА – М., 2008
4. Чеканов А.Н. РАСЧЕТЫ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ - Москва, Кнорус. 2012.

ЭРГОНОМИЧНОЕ УСТРОЙСТВО ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЧЕЛОВЕКА[2]

Тавитов А.Г.
Научные руководители: к.т.н. Кузнецов В.Е.; Юдин А.В.
НИТУ МИСиС, Учебно-производственный центр “ARTCAD”, Москва, Россия

ERGONOMIC DEVICE TO MEASURE PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF A HUMAN

Tavitov Azamat
Supervisor: PhD. Vladimir Kuznetsov; Anton Yudin
NUST MISiS, Training and production center “ARTCAD”, Moscow, Russia

Аннотация
В статье рассмотрена работа по созданию рабочего прототипа ботинка и браслетов для проведения биоимпедансного анализа, электрокардиографии, измерения температуры и подсчета количества шагов с помощью акселерометра. Устройство разработано на основе микроконтроллера ATmega168. Для вывода информации используется смартфон, данные на который поступают через Bluetooth.

Annotation
The article describes the creation of working prototype shoes and bracelets for bioimpedance analysis, ECG, temperature measurement and counting the number of steps with the help of the accelerometer. The device is based on the ATmega168 microcontroller. To display the information is used smartphone, which receives data via Bluetooth.

Введение

Оценка физического состояния и риска развития заболеваний у человека является важнейшей задачей в контексте сохранения здорового организма. Современные цифровые технологии вкупе с такими методами, как биоимпедансный анализ (БИА) состава тела человека и электрокардиография позволяют производить оценку рисков заболевания в “фоновом режиме”. Интеграция системы оценки состава тела человека на основе биоимпедансного анализа в обувь позволит отслеживать состояние пользователя в реальном времени и заблаговременно предупреждать о возможных рисках для здоровья.

Целью работы является разработка устройства способного отслеживать состояние здоровья пользователя в реальном времени и производить оценку рисков развития различных болезней или патологий.

Основной задачей является разработка рабочего прототипа устройства, состоящего из корпуса, батареи питания, набора датчиков, системы связи и электроники управления. Корпус изготавливается с использованием аддитивных технологий (3Д-печати). Электроника управления анализирует данные, собранные с датчиков, и выводит информацию о текущем состоянии пользователя на экран смартфона.

Анализ состояния тела человека

Биоимпедансный анализ состава тела основан на различиях электропроводности тканей организма ввиду разного содержания в них жидкости и электролитов. Эта процедура включает в себя пропускание очень малого тока через тело - 800 мА при 50 кГц, который невозможно почувствовать. Активное сопротивление жировой ткани примерно в 10-15 раз выше, чем у большинства других тканей, составляющих безжировую массу тела.

[2] работа выполнена при поддержке лаборатории цифрового производства ФабЛаб при НИТУ МИСиС, центра технологической поддержки образования Департамента образования г.Москвы.

Электрический импеданс Z биологических тканей имеет две компоненты – активное R и реактивное сопротивление Xc, которые связаны соотношением

$$Z^2 = R^2 + X^2c$$

Субстратом активного сопротивления являются биологические жидкости, обладающие ионным механизмом проводимости. Субстратом реактивного сопротивления являются клеточные мембраны. Для оценки общей воды организма, безжировой и скелетно-мышечной массы (ОВО, БМТ, СММ) используются значения активного сопротивления на частоте 50 кГц, а внеклеточной жидкости (ВКЖ) – на частоте 5 кГц. По величине реактивной составляющей импеданса рассчитываются значения основного обмена и активной клеточной массы [1].

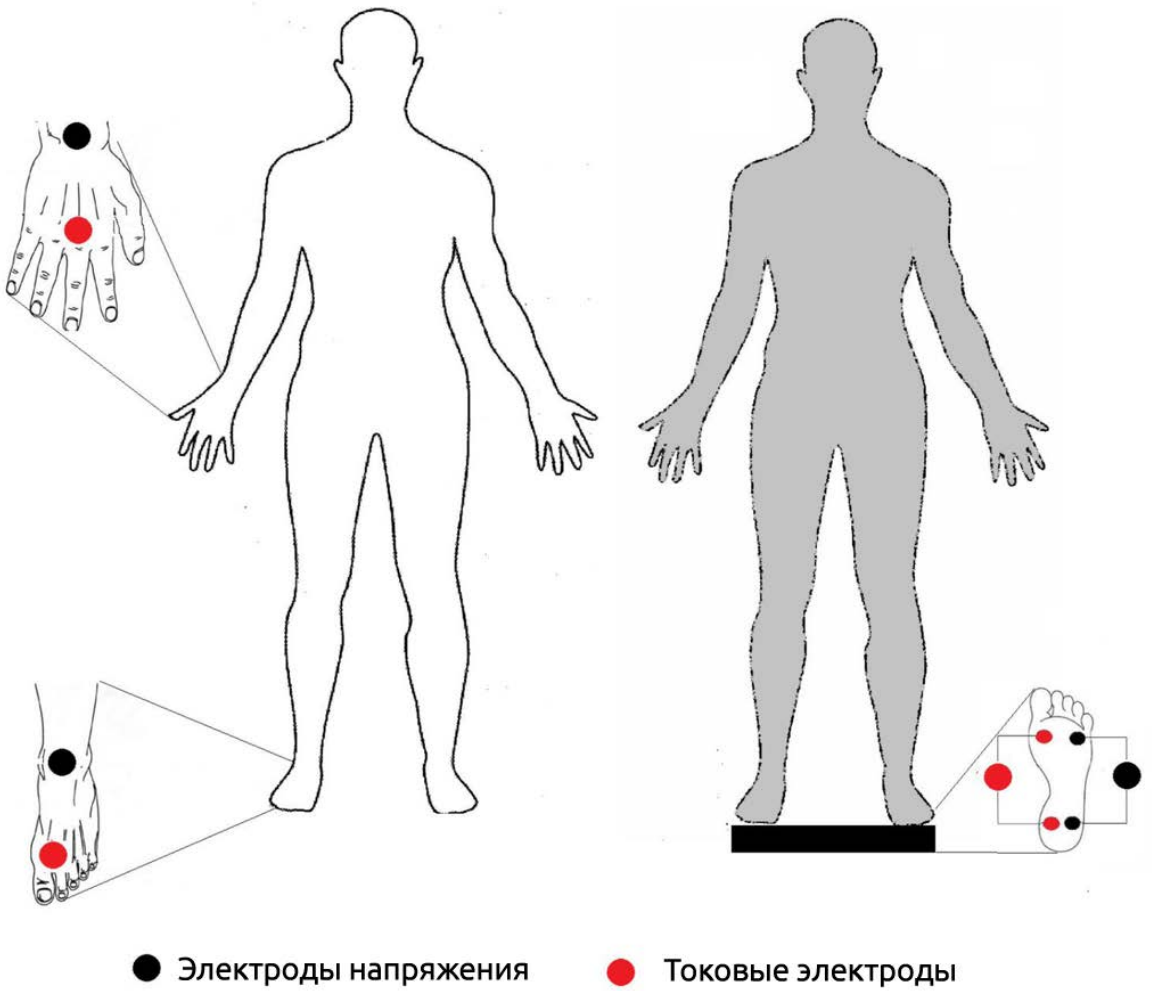


Рис. 1. Схема расположения электродов на руках и ногах при БИА

Электрокардиография

В клетках и тканях человека возникают электрические напряжения, которые получили название биоэлектрических потенциалов. Сердце человека можно рассматривать как диполь. Диполь-сердце находится внутри электропроводящей среды. Создаваемое электрическое поле можно зарегистрировать на некотором расстоянии от сердца, в точках поверхности тела человека, присоединяя к ним электроды. Электроды на руках (браслеты) и ногах (встроенные в обувь) можно использовать для диагностики состояния сердечной деятельности (электрокардиография) [2-6].

Принципиальное устройство ботинка

Вся электроника устройства встроена в подошву ботинку. Аккумуляторы расположены в зоне пятки; вентилятор в центральной части; в передней части подошва имеет необходимое для свободного прохождения воздуха пространство (см. рис.2).

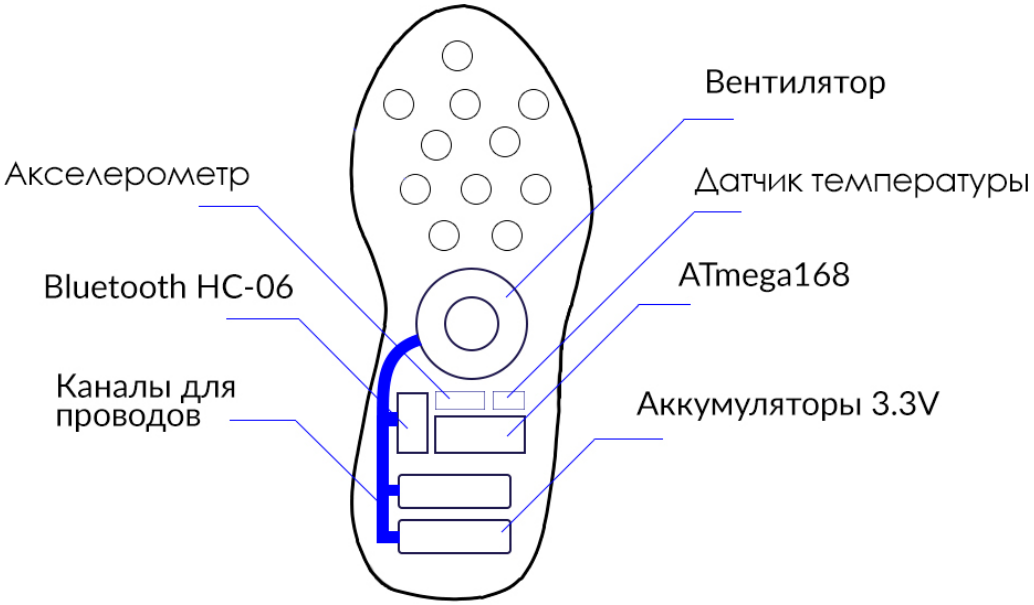


Рис. 2. Схема расположения основных элементов устройства

Электронная составляющая

Электронная часть комплекса состоит из микроконтроллера ATmega168 и подключенной к нему периферии: Bluetooth-модуля для связи с управляющим устройством (смартфон), системы вентиляции, аккумуляторов, акселерометра, датчика температуры. Вентилятор подключен к микроконтроллеру через МОП-транзистор. При получении сигнала питание подается на вентилятор.

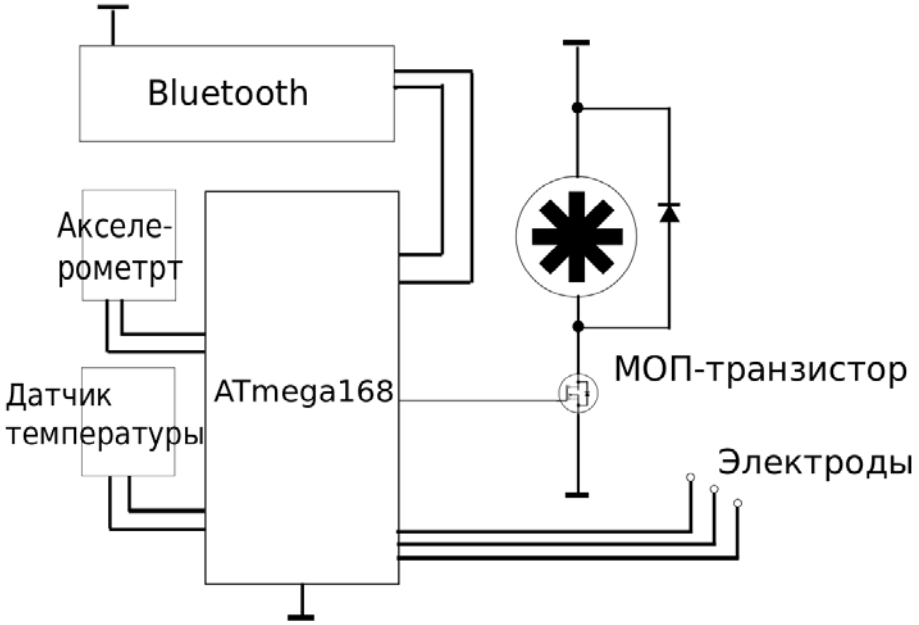


Рис. 3. Электрическая схема устройства

Машина состояний

Устройство может находится в следующих состояниях: активное, неактивное, ожидание, неисправности, низкого уровня заряда и выключенном [1].

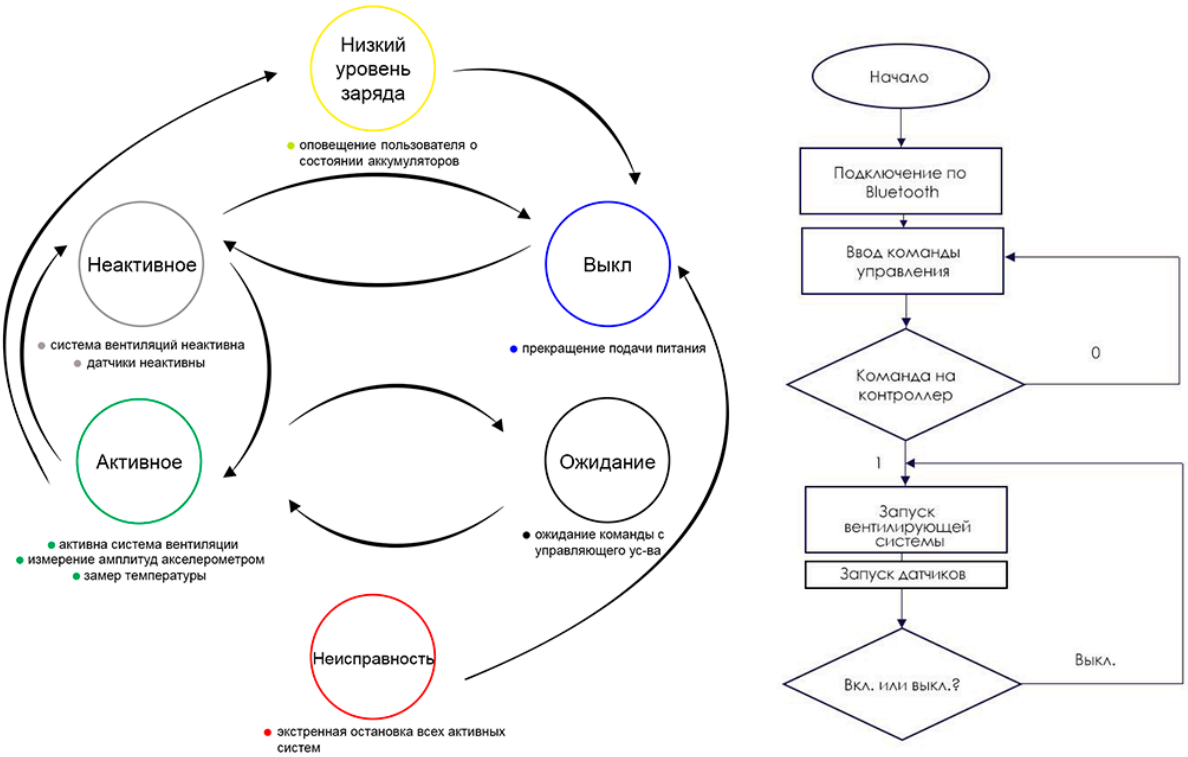


Рис. 4. Машина состояний устройства и упрощенный алгоритм работы

Браслеты

Для регистрации электрического поля используются браслеты с электродами на руках пользователя. В браслеты встроены источник питания и Bluetooth-модуль для передачи данных на микроконтроллер, расположенный в подошве ботинка.

Трехмерное моделирование и выбор материалов

В ходе работы были исследованы свойства различных полимерных материалов для изготовления основных компонентов устройства с использованием 3D-печати. Исходя из полученных результатов основным был выбран материал на основе поливинилхлорида (FLEX), так как он обладает необходимой эластичностью [7-11].

Трехмерная модель устройства создана при помощь программного обеспечения Rhinoceros 3D (www.rhino3d.com).

На первом этапе были созданы две замкнутые кривые, соединенные вертикальными ребрами. После этого, с помощью инструмента Sweep 2 Rails кривые были преобразованы в поверхность.

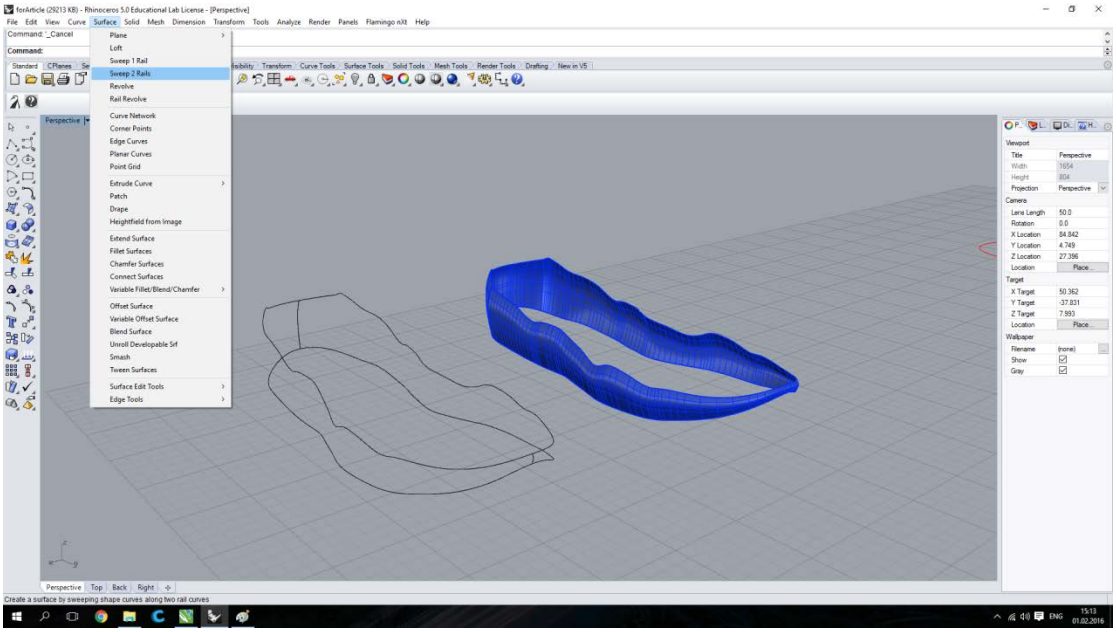


Рис. 5. Первый этап моделирования

На втором этапе была создана подошва ботинка с помощью замкнутых кривых и инструмента Surface from Hatch была создана поверхность, а затем преобразована в сплошной объект (solid) с помощью инструмента Extrude Surface.

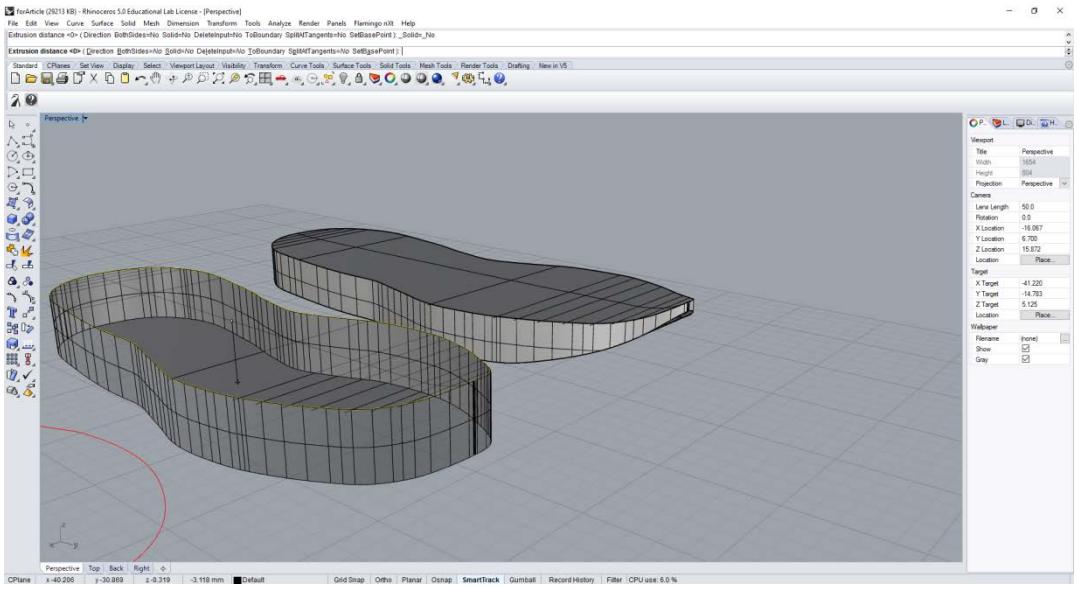


Рис. 6. Второй этап моделирования

На третьем этапе из созданной подошвы были произведены вырезы для установки электронных компонентов устройства с помощью инструмента Boolean.

На четвертом этапе была создана верхняя часть ботинка, представляющая собой поверхность, образованную сетью кривых (инструмент Surface from network of curves).

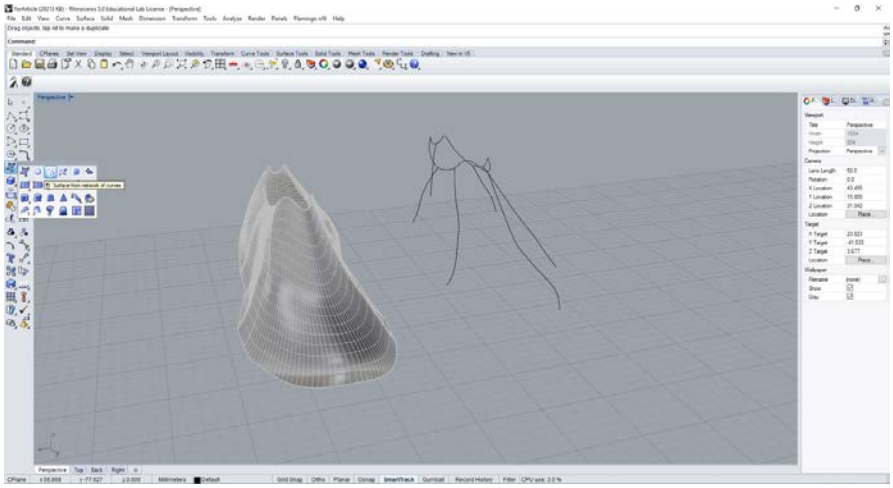


Рис.7. Четвертый этап моделирования

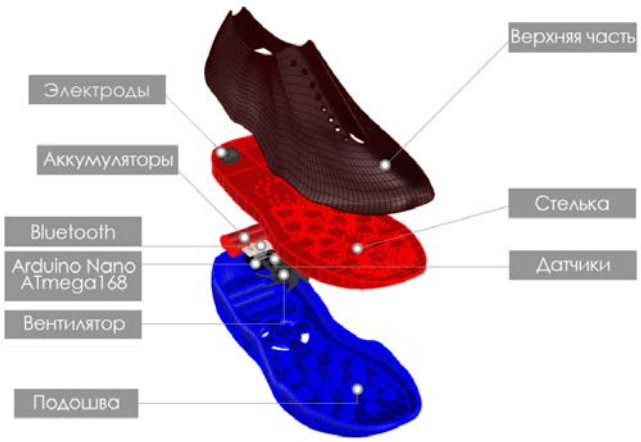


Рис. 7. Компоненты устройства

Рис. 8. 3D-модель готового устройства

Заключение

Использование различных методов совместно с применением аддитивных технологий имеет перспективы в области оценки рисков развития различных заболеваний. Преимуществом использования таких методов в одежде и обуви является полная автономность сбора необходимой информации для предупреждения об опасных патологиях.

В ходе исследования были выявлены новые задачи, связанные с замером сопротивления при помощи электродов на руках и ногах пользователя. В будущем планируется расширение функционала устройства за счет использования мембранных сенсоров для определения распределения давления на подошву во время ходьбы, что поможет предсказывать различные патологии.

Литература

1. Николаев Д.В., Смирнов А.В., Руднев С.Г. Биоимпедансный анализ состава тела человека — М: Наука, 2009. — 390 с.
2. Ремизов А.Н. Курс физики, электроники и кибернетики для медицинских институтов — М: Высшая школа, 1982. — 606 с.
3. ЧенгР. Inside Rhinoceros 5 — М: Delmar Cengage Learning, 2014. — 656с.
4. Блум Д. Изучаем Arduino. Инструменты и методы технического волшебства — Спб.: БХВ-Петербург, 2015. — 336 с.
5. Карвинен Т. Делаем сенсоры. Проекты сенсорных устройств на базе Arduino и Raspberry Pi— М: Вильямс, 2015. — 448 с.
6. Власов А.И., Конькова А.Ф. МЕДИКО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ АДЕКВАТНОСТИ АДАПТИВНОЙ РЕАКЦИИ ОРГАНИЗМА НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ // Конверсия. 1995. № 9-10. С. 18-21.
7. Юлдашев М.Н., Зотьева Д.Е. КОНСТРУКТОРСКОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ // Сборник научных трудов. 15-ая молодежная научно-техническая конференция " Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2013".–М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 24-25апреля 2013г.–с.295-300.
8. Ваганов А.Л. ПРОТОТИПИРОВАНИЕ МЕХАТРОННОГО УСТРОЙСТВА В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА // Сборник научных трудов. 16-ая молодежная научно-техническая конференция "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2014".–М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 23-24 апреля 2014 г. – с.126-134.
9. Арабов Д. И., Власов А. И., Гриднев В.Н., Григорьев П. В. КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВОГО ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА (FAB LAB) ДЛЯ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. №5.
10. Арабов Д.И., Вирясова А.Ю. , Гриднев В.Н. КОМПЛЕКСНОЕ МАКЕТИРОВАНИЕ УЗЛОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА (FAB-LAB) В УСЛОВИЯХ СКВОЗНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2016. Т. 1.
11. Курносенко А.Е., Соловьев В.А., Арабов Д.И. ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СОВМЕСТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ И МЕХАНИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ ИЗДЕЛИЯ В САПР SOLID EDGE/NX // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2014. № 3 (155). С. 85-89.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ АНАЛОГ-ФАЗА ДЛЯ РАДИОПЕЛЕНГАТОРА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ

Солодняков А. А. , Кулаков В.А., Авдеев А.Ю., *Журков А.П.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Аминев Д.А.
МГТУ им.Н.Э. Баумана; кафедра ИУ4; *МИЭМ НИУ ВШЭ

ANALOG TO PHASE CONVERTER FOR DISTRIBUTED RADIO DIRECTION FINDING SYSTEMS

Solodnyakov A.A., Kulakov V.A., Avdeev A.Y., *Zhurkov A.P.
Supervisor: Aminev D.A.
MSTU, Moscow, Russia; *MIEM NRU HSE, Moscow, Russia

Аннотация
Рассматривается принцип радиопеленгации излучающего объекта с помощью распределенной радиотехнической системы наблюдения. Рассмотрены составные части системы наблюдения. Представлена структура необслуживаемого радиотехнического терминала. Приводится структура и описание преобразователя аналог-фаза в его составе.

Abstract
The principle of the emitting object-finding using a distributed electronic surveillance system is considered. The components of a surveillance system is shown. The structure of the radio engineering unattended terminal is presented. The structure and the description of the analogue-to-phase converter in its composition is offered.

Введение

В малоосвоенных районах радиопеленгационные системы [1-3] наблюдения применяются с целью обеспечения безопасности воздушного движения. Распределенная на местности радиотехническая система наблюдения (РСН), имеющая топологию сети типа многоуровневая звезда, состоит из аппаратуры местного диспетчерского пункта (МДП), каналов связи и необслуживаемых радиотехнических терминалов (НРТ), которые могут быть удалены от МДП на расстояния до нескольких сотен километров [4-8].

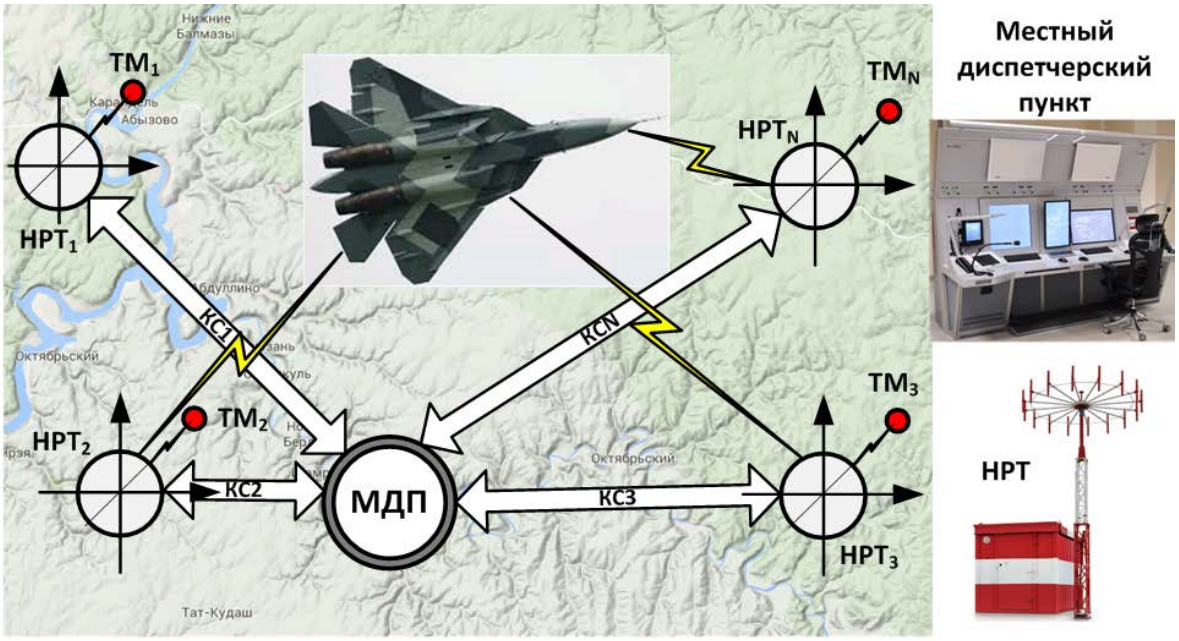


Рис. 1. Распределенная на местности РСН (а) и диаграмма определения пеленга (б)

Здесь TM_1, TM_1…,TM_N – тестирующие маяки для НРТ, которые установлены под углом 45° к азимуту. Основным элементом, определяющим пеленг воздушного объекта является необслуживаемый радиотехнический терминал [9].

Необслуживаемый радиотехнический терминал

Структура радиопеленгационной части необслуживаемого радиотехнического терминала представлена на рис.2.

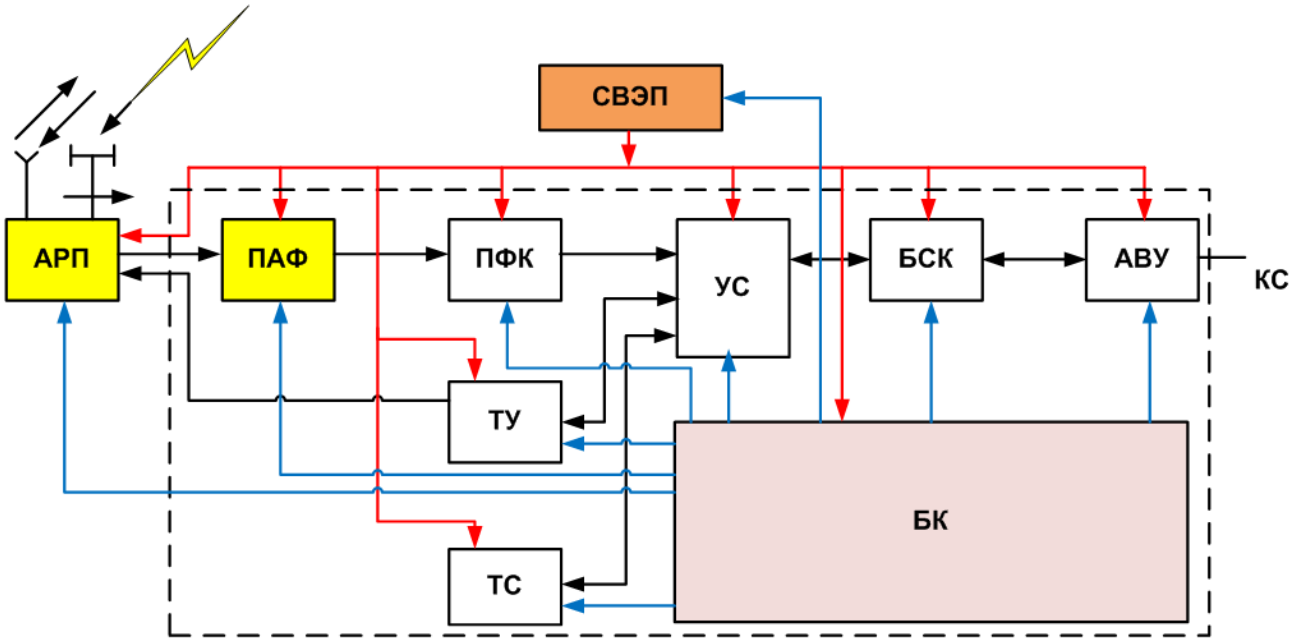


Рис. 2. Структура радиопеленгационной части необслуживаемого радиотехнического терминала

Автоматический радиопеленгатор (АРП) принимает сигналы от квазидоплеровской антенны и формирует квадратурное напряжение, соответствующее углу пеленга. Преобразователь аналог-фаза (ПАФ) формирует значение пеленга в виде фазового сдвига из квадратурных сигналов. Преобразователь фаза-код (ПФК) формирует код угла пеленга из фазового сдвига. Устройство телесигнализации (ТС) представляет собой приемник и выполняет следующие функции: прием сигналов состояния АРП, АПП; запись сигналов состояния в буферный регистр; формирование сигнала наличия информации; передачу цифрового кода ТС; передачу сигналов контроля. Устройство телеуправления (ТУ) осуществляет прием и обработку информации АРП в модуле ПАФ и ПФК. Устройство согласования (УС) предназначено для передачи информации от нескольких источников одному приемнику информации. Блок сопряжения с каналом (БСК) осуществляет передачу цифровых кодов пеленга, ТС в канал связи через аппаратуру вторичного уплотнения (АВУ). БК – блок контроля осуществляет контроль работоспособности составных частей НРТ в процессе функционирования и при проведении ремонтных или профилактических работ. Система вторичного электропитания (СВЭП) обеспечивает мощности и напряжения питания для остальных элементов схемы.

Преобразователь аналог-фаза

Технические характеристики ПАФ:

– диапазон изменения входных аналоговых сигналов от -6 до + 6 В;
– диапазон изменения фазы выходного сигнала от 0 до 360°;
– выходные опорные сигналы с фазой 0° и 270°, частотой 45,7 Гц.

ПАФ выполнен в аналоговом и цифровом виде. Функциональная схема приведена на рис.3а, временные диаграммы её работы приведены на рис.3б.

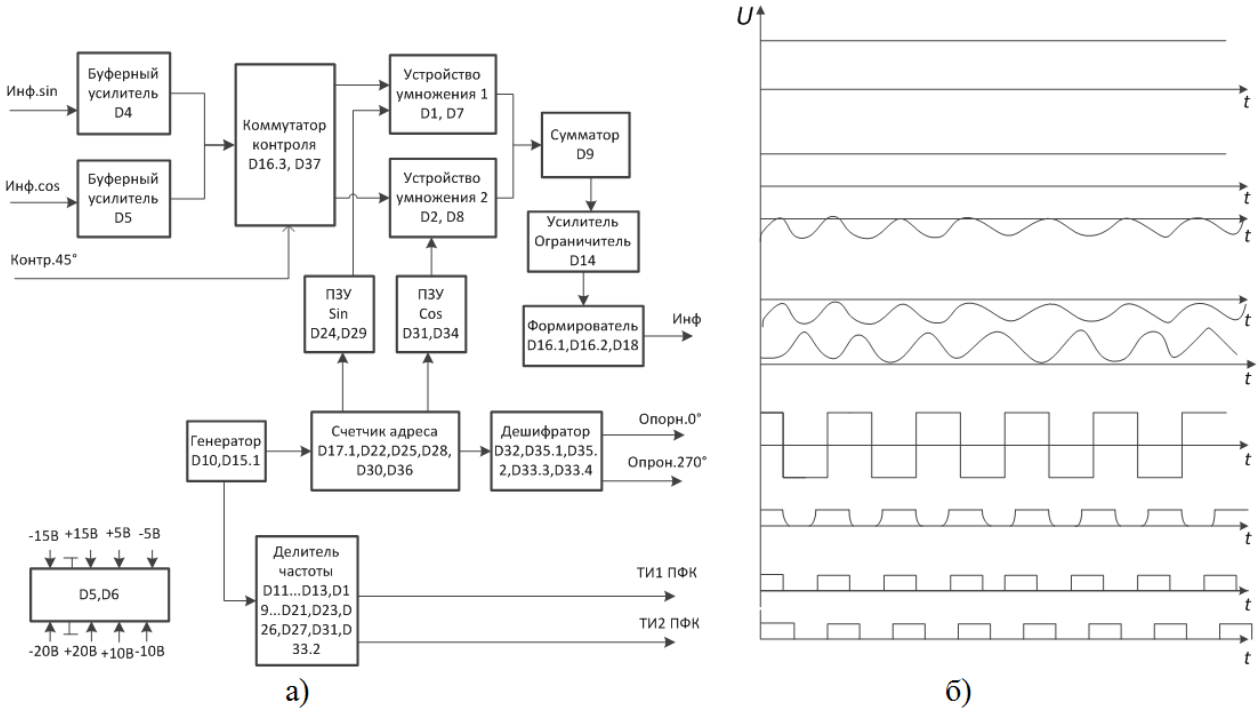


Рис. 3. Функциональная схема ПАФ (а) и временные диаграммы ее работы (б)

Схема изображает устройство для преобразования квадратурных аналоговых сигналов в фазомодулированный сигнал. Входные сигналы «Инф cos» и «Инф sin» через буферные усилители и коммутатор контроля D37 поступают на входы опорного напряжения перемножающих D1 и D2, на цифровые входы которых подаётся код с ПЗУ D24 и D31. В обоих ПЗУ записана синусоида, но с помощью сумматора на элементах D36.1 и D36.2 к восьмому разряду адресного кода, поступающего на ПЗУ (D31) добавляется «логическая 1», вследствие чего: значения его синусоиды опережают на 90° значения синусоиды ПЗУ (D24), то есть являются косинусоидальными. Входы обоих ПЗУ выполнены по схеме с открытым коллектором, поэтому они подключены через резисторы, входящие в состав сборок D29 и D34 к источнику +5В D5 и D6 для согласования со входами. В D1 и D2 входные квадратурные сигналы «Инф cos» и «Инф sin» умножаются на синусоиду и косинусоиду соответственно, затем складываются сумматором D9. Так как ЦАП имеют выход по току, к ним подключены усилители D7 и D8, преобразующие выходной ток в напряжение. Коммутатор, после прихода сигнала контроля, подключает к входам опорного напряжения обоих ЦАП напряжение +5 В, фаза полученного сигнала должна соответствовать 45° и 0°.

Заключение

Рассмотренный принцип радиопеленгации позволяет определить угол пеленга объекта относительно азимута путем анализа и преобразования квадратурных сигналов от АРП. Структура необслуживаемого радиотехнического терминала представляет собой такт передачи данных пеленга через КС в АМДП. Преобразователь аналог-фаза может быть легко реализован на доступной элементной базе – на микросхемах АЦП или отдельных радиоэлементах.

Литература

1. Журков А.П. Обзор российских патентов по радиопеленгации // Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов НИУ ВШЭ им. Е.В. Арменского. Материалы конференции. ISBN 978-5-94768-071-3- М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2015. - С.217–218
2. Журков А. П., Аминев Д. А., Силаев В. М. Обзор авторских свидетельств СССР по радиопеленгации // В кн.: Труды Международного симпозиума «НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО»: 2 т. - Пенза : ПГУ, 2015. – 2 том С. 50-52.
3. Zhurkov A.P., Aminev D.A., Silaev V.M. Overview of U.S. patents for radio direction finding // В кн.: Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий: материалы международной научно-технической конференции // М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2015. P.321-324.
4. Аминев Д.А., Журков А.П., Козырев А.А., Увайсов С.У. Алгоритмы работы программного обеспечения микропроцессорных систем контроля аппаратуры пеленгаторной позиции // Труды НИИР. - М.: -2014. №4 - С. 11–17.
5. Аминев Д.А., Журков А.П., Козырев А.А., Увайсов С.У. Методы измерения фазы и временных параметров импульсов // Труды НИИР. - М.: -2013. №4 - С. 66–72.
6. Аминев Д.А., Журков А.П., Козырев А.А., Увайсов С.У. Анализ эффективности системы автоматизированного контроля // Труды НИИР. - М.: -2013. №4 - С. 73–78.
7. Аминев Д.А., Журков А.П., Козырев А.А., Увайсов С.У. Алгоритмы работы программного обеспечения микропроцессорных систем контроля аппаратуры пеленгаторной позиции // Труды НИИР. - М.: -2014. №4 - С. 11–17.
8. Аминев Д.А., Журков А.П., Козырев А.А., Алгоритм контроля аппаратуры местного диспетчерского пункта наземной локальной радиопеленгационной системы наблюдения // Труды НИИР. - М.: -2015.№ 4 - С. 72-78
9. Zhurkov A.P., Aminev D.A., Radio direction finding system "NIVA" and requirements to ensure its diagnostic control// В кн.: Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий: материалы международной научно-технической конференции / Отв. ред.: И. А. Иванов; под общ. ред.: С. У. Увайсов. М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2014. P.453-455.

АНАЛИЗ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ПАЛУБНЫХ ИМИТАТОРОВ

Стрелков С. С.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Семенцов С.Г.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

ANALYSIS OF UNIVERSAL DECK IMITATORS

Strelkov S. S.
Supervisor: Dr., Prof. Sementsov S.G.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье представлено описание подхода к разработке системы имитации ударных средств поражения (УСП) на примере разработок ОКБ-80 ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение». Такая система предназначается для проверки аппаратуры подготовки и пуска носителя. Её применение позволяет существенно сократить время проведения испытаний и минимизировать необходимое для работ количество дорогостоящих реальных изделий, что приводит к снижению затрат.

Annotation
This article described an approach of development of the strike weapons of destruction imitation system on the examples of the developments by EDB-80 of JSC “Tactical Missiles Corporation”. Such system is aimed at checking the equipment of preparation and launch of the vehicle. Its application lets gradually reduce time spending on test and minimize necessary amount of real vehicles, that is reducing expences.

Введение

Системы имитации ударных средств поражения (СИУСП) представляют собой специальные программно-аппаратные комплексы, выросшие из различных стендов отработки и автоматизации систем управления подобными имитациями. Они могут быть выполнены в различном конструктиве – в наземном, бортовом, а также учебно-лётном исполнении.

Под имитацией будем понимать моделирование в реальном времени, где моделирование – построение, изучение и исследование моделей реальных существующих объектов с целью предсказания явлений, интересующих исследователя [1].

С 2003 года ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение» занимается разработкой и эксплуатацией имитаторов собственных авиационных средств поражения (АСП). Подобные имитаторы не имеют аналогов, а ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение» продолжает развивать идею имитаторов под различные типы изделий – как для авиации (АСП), так и для морского флота (УСП).

1 Традиционный подход и его недостатки

Традиционно отработка стыковки УСП и носителя осуществляется с применением специального учебно-действующего изделия. Преимуществом такого подхода является достоверность получаемых результатов, но большое количество недостатков не позволяет применять традиционных подход при отработке стыковки современных цифровых УСП, среди них:

- необходимость иметь транспортную тележку и кран для извлечения изделия из тары;
- небольшой ресурс учебно-действующего изделия;
- вынужденные перерывы между включениями от 15 минут до часа;
- большой риск спалить изделие;
- невозможность имитации большинства нештатных ситуаций.

Применение системы имитации УСП снимает все указанные недостатки и обладает рядом уникальных преимуществ, о которых будет рассказано ниже.

Под системой имитации УСП подразумевается комплекс мер (методик) и аппаратных средств (имитаторов УСП), необходимых для

- глубокой отработки протокола информационного взаимодействия (ПИВ) УСП и носителя с имитацией ошибок информационного обмена;
- тренировки экипажа носителя без реального применения УСП и связанных с этим ограничений;
- проведение встроенного контроля комплекса вооружения носителя в эксплуатации.

В состав аппаратных средств системы имитации УСП входят:

- комплексный имитатор УСП (КИР);
- универсальный палубный имитатор УСП (ПИР).

2 Применение комплексных имитаторов

В 2008 году ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение» по заказу ОАО «Тайфун» приступило к разработке комплексного имитатора УСП для проверки БРК «Бал-Э».

При создании нового КИР был применен огромный опыт, приобретенный при разработке и эксплуатации имитаторов АСП, а также учтены замечания к разработанному ранее КИР производства ОАО «Концерн «Гранит-Электрон».

Данный имитатор позволяет решать целый комплекс задач по отработке протокола информационного взаимодействия (ПИВ) изделия с носителем при проведении ЛКИ.

Отработка ПИВ начинается с электрической стыковки КИР с носителем. Для этого используется модуль проверки линий связи (ПЛС) из состава КИР. На этом этапе обеспечивается автоматизированная проверка линий связи с УСП на соответствие согласованной схеме связи с носителем:

- прозвонка всех цепей связи изделия с носителем между собой и корпусом носителя на предмет отсутствия коротких замыканий;
- проверка на отсутствие наведенных потенциалов;
- измерение напряжений питания на соответствие ГОСТ;
- проверка нагрузочной способности выходных линий разовых команд носителя;
- измерение нагрузки входных линий разовых команд носителя.

После электрической стыковки начинается отработка информационной стыковки с носителем. На этом этапе обеспечивается комплексная отработка информационного обмена УСП и носителя, для чего в КИР реализованы следующие режимы работы:

1. Без контроля информационного обмена – имитация штатной циклограммы УСП без проверки на соответствие ПИВ информации получаемой от носителя.

2. С контролем информационного обмена – имитация циклограммы УСП в соответствии с ПИВ:

- с контролем времени приема цифровых признаков и разовых команд от носителя;
- с проверкой адресов слов данных и контрольной суммы цифровых массивов;
- с контролем состава цифровых массивов носителя на соответствие заданным физическим величинам: скорость, высота, углы ориентации носителя и др.;
- с проверкой времени задержки и очередности отделения от носителя (схода) при одновременной имитации нескольких УСП (залпа).

3. Имитации токопотребления: при подключении модулей управляемой электронной нагрузки (УЭН) в любом режиме работы КИР имитируется диаграмма токопотребления по цепям питания реального УСП.

4. Имитация ошибок информационного обмена – позволяет отработать алгоритмы носителя в нештатных ситуациях применения УСП и граничные значения временных интервалов приема/выдачи разовых команд и цифровых признаков.

Благодаря глубокой отработке ПИВ с помощью КИР, этап стыковки с учебно-действующим изделием не занимает много времени, что позволяет в кратчайшие сроки провести заводские и перейти к государственным испытаниям (ГИ).

Важнейшим шагом в развитии КИР является их универсальность. Современные корабельные комплексы УСП способны применять несколько видов изделий. Использование при проведении заводских испытаний нескольких имитаторов отдельных УСП представляется непрактичным. В настоящий момент ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение» занимается разработкой универсального КИР, способного имитировать УСП разных видов.

3 Применение универсальных палубных ИР

В эксплуатации корабельных комплексах УСП сохраняется проблема минимизации времени и упрощения контроля исправности комплексов УСП на корабле. В настоящий момент для проверки на корабле функционирования аппаратуры подготовки и пуска используется встроенный самоконтроль, который не гарантирует 100% корректности работы комплекса.

Также некоторые комплексы УСП поставляются вместе с комплектом КИР соответствующих изделий. К недостаткам применения КИР можно отнести:

— необходимость отстыковывать штатные жгуты пусковой установки от боекомплекта и подстыковывать их к имитатору, что приводит к ненадёжности соединений и увеличению времени проведения проверочных работ;
— необходимость иметь для каждого комплекса свой комплект, что требует дополнительного места на корабле;
— необходимость обеспечения имитатора внешним питанием, что приводит к увеличению времени проведения проверочных работ и затрудняет перемещение личного состава корабля;
— разнесённость по кораблю рабочих мест имитатора и управления комплексом УСП, что приводит к увеличению численности людей, необходимых для проверки комплекса, и необходимости организации между ними связи.

Всё это существенно увеличивает время и необходимое количество личного состава для проведения проверки готовности комплекса УСП к применению. Чем больше комплексов на корабле, тем существеннее данные недостатки.

Для улучшения эксплуатационных характеристик разрабатываемых корабельных комплексов УСП целесообразно внедрение в их состав универсального палубного имитатора. ПИР внедряется в систему связи комплекса с изделием с помощью параллельных отводов всех линий связи. В отличие от КИР палубный имитатор не требует отстыковки штатных жгутов пусковой установки, места для хранения, а также отдельного внешнего питания.

ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение» совместно с ЗАО «НПЦ «Аквамарин» в инициативном порядке ведут научно-экспериментальные работы по созданию данного имитатора.

ПИР имеет три режима работы:

– режим проверки линий связи (ПЛС);
– режим имитации;
– режим регистрации.

В режиме ПЛС осуществляются проверка всех линий связи комплекса УСП с изделием на короткое замыкание, измерение разности потенциалов (кроме опасных цепей) и

сопротивлений между линиями связи, измерение сопротивления изоляции между положительными/отрицательными полюсами питающих напряжений и корпусом.

В режиме имитации осуществляется имитация наличия изделия в контейнере с реализацией информационного обмена с аппаратурой подготовки и пуска. Для проверки реакции аппаратуры на нештатные ситуации в данном режиме заложена возможность имитации ошибок информационного обмена.

В режиме регистрации осуществляется регистрация информационного обмена аппаратуры подготовки и пуска с изделием, включая цифровой обмен, аналоговые сигналы и питающие напряжения.

Благодаря внедрению палубного имитатора в комплексе УСП возможно введение принципиально новых режимов работы: «ПСИ-К» и «ККРК».

Режим «ПСИ-К» является технологическим и позволяет проверить работоспособность комплекса УСП при его первичной установке на корабль или после проведения ремонтных работ. При выборе режима УСП сначала происходит проверка линий связи с помощью ПИР. При успешном результате данной проверки ПИР переходит в режим имитации, и проводится проверка информационного взаимодействия аппаратуры подготовки и пуска с изделиями с имитацией нештатных ситуаций.

Режим «ККРК» является эксплуатационным режимом и проводится перед погрузкой на корабль нового боекомплекта. При выборе режима «ККРК» происходит проверка линий связи с помощью ПИР. При успешном результате данной проверки ПИР переходит в режим имитации, и проводится проверка информационного взаимодействия аппаратуры подготовки и пуска с изделиями.

После погрузки и установки нового боекомплекта проводится режим «КБК» («КБК-П» при наличии практических или мишенных изделий). В данном режиме проверяются линии связи (с помощью ПИР), которые могли быть повреждены при стыковке боекомплекта, а также исправность поступивших изделий.

Комплексное применение режимов «ККРК» и «КБК» позволяют оперативно проверить функционирование, своевременно выявить неисправности и поддерживать постоянную боевую готовность комплекса УСП.

При работе комплекса УСП в штатных режимах ПИР в режиме регистрации используется в качестве аппаратуры объективного контроля комплекса и обеспечивает наличие достоверных данных об информационном обмене аппаратуры подготовки и пуска с изделиями, что позволяет при необходимости провести качественный анализ проведённого включения.

Таким образом, применение палубного имитатора позволяет не только в разы сократить время проведения проверки готовности комплекса УСП к применению, но и повышает качество проверки, а также обеспечивает объективный контроль информационного обмена аппаратуры подготовки и пуска с изделиями в штатных режимах работы комплекса УСП.

Заключение

Применение существующих систем имитации ударных средств поражения позволяет эффективно отработать применение изделия в составе нового комплекса УСП, сокращая расходы на проведение заводских испытаний.

При разработке новых комплексов перспективных УСП для повышения эффективности, сокращения расходов и времени заводских испытаний целесообразно применять универсальные комплексные имитаторы. Для улучшения эксплуатационных характеристик необходимо внедрение в состав новых комплексов УСП встроенных универсальных палубных имитаторов.

Литература

1. Свободная энциклопедия, электронный ресурс, URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Моделирование, режим доступа: свободный – проверено 1.02.16
2. Старостин В.Н. Системы имитации ракет / В.Старостин, Е.Ловков, Н.Васильев // Современные технологии автоматизации. -2009. - №3 – с. 66-67
3. Алексеев В.Г., Григорьев В.П., Нестеров Ю.И. Моделирование технических объектов конструкторско-технологического проектирования электронной аппаратуры. Под редакцией Белова Б.И. – Москва, Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 1991
4. ФГУП «ГосНИИАС», электронный ресурс, URL: http://www.gosniias.ru/pages/ipo.html, режим доступа: свободный – проверено 1.02.16.
5. Геча В.Я., Семенцов С.Г. Применение unix-подобных систем в управлении объектами ядерной энергетики // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2004. Т. 101. С. 127-131.
6. Геча В.Я., Семенцов С.Г., Козлов С.А., Коноплев А.М. Концепция обеспечения безопасности linux-подобных операционных систем в системах управления и защиты реакторов АЭС // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2004. Т. 101. С. 132-140.
7. Старостин В.Н., Сычев С.И., Поляков В.С., Ловков Е.Н. Способ проверки линий связи аппаратуры носителя и устройство для его реализации // Патент на изобретение №2502078.
8. Быков А.Г., Васильев Н.А., Глазков А.И., Иванов Л.А., Иванов П.Е., Старостин В.Н., Сычев С.И., Хвощ С.Т. Способ имитации электрического и информационного взаимодействия ракеты с аппаратурой носителя и устройство для его реализации// Патент на изобретение №2377649.
9. Васильев Н.А., Иванов Л.А., Ловков Е.Н., Старостина Л.И., Ступнев В.Ю., Сычев С.И., Филимонов Б.Н. Способ имитации взаимодействия ракеты с аппаратурой носителей и устройство для его реализации// Патент на изобретение №2414746
10. Быков А.Г., Васильев Н.А., Глазков А.И., Иванов Л.А., Иванов П.Е., Старостин В.Н., Сычев С.И., Хвощ С.Т. Устройство имитации электрического и информационного взаимодействия ракеты с аппаратурой носителя// Патент на полезную модель №75079.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ЭКРАНА ДЛЯ ЗАЩИТЫ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНЫХ ИОНОВ

Терехов В.В., Михайличенко С.С.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Зинченко Л.А., к.т.н. Глушко А.А.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

METHOD FOR MODELING THE THICKNESS OF SHIELD FOR PROTECTION MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS FROM THE IMPACT OF HIGH-ENERGY IONS

Terekhov V.V., Mikhaylichenko S.S.
Supervisor: Dr., Prof. Zinchenko L.A., Ph.D. Glushko A. A.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье рассматривается компьютерное моделирование радиационного воздействия на микроэлектромеханические системы (МЭМС, микросистемы). Подробно исследованы методы моделирования воздействия на МЭМС тяжёлых ионов. Кратко представлены методы моделирования воздействия других типов радиационного излучения. В заключении представлены выводы о возможностях и необходимости компьютерного моделирования радиационного воздействия на МЭМС.

Annotation
The article deals with computer modeling of radiation effects on microelectromechanical systems (MEMS, microsystems). Methods of modeling the impact on MEMS heavy ions were researched. Methods to simulate the impact of other types of radiation were briefly introduced. Conclusions about the possibilities and the need for computer modeling of radiation effects on MEMS were introduced.

Введение

В последние десятилетия микроэлектромеханические системы активно применяются в различных приборах и устройствах не только на Земле, но и в открытом космосе. Актуальность использования микросистем для выполнения задач в космическом пространстве обусловлена необходимостью миниатюризации и уменьшения массы спутников, что приводит к удешевлению стоимости их запуска. Однако при проектировании МЭМС для работы в таких условиях требуется, помимо обычных параметров точности и надёжности, учитывать их стойкость к радиационным воздействиям [1].

МЭМС, находящиеся на геостационарной орбите и не имеющие защитного экранирования, могут накапливать за год дозу более, чем 100 Мрад: этого достаточно для полного выхода из строя большинства микросистем. При проектировании комплексов МЭМС для использования в открытом доступе необходимо учитывать не только накопленную дозу, но и тип радиационного излучения, поскольку МЭМС, основанные на различных физических принципах, могут отличаться по восприимчивости различных типов радиационного излучения.

1 Краткий обзор воздействия радиации на МЭМС

Степень радиационной стойкости микросистем определяется различными факторами: интенсивностью излучения, степенью защищённости МЭМС, типом радиационных частиц, физическим принципом работы МЭМС, материалом изготовления и некоторыми другими. Например, микросистемы, использующие электростатический, оптический и теплоэлектрический принципы работы и выполненные из кремния, стекла, керамики или металлов являются наименее устойчивыми как к эффектам смещения, вызванными

неионизирующим излучением, так и к ионизирующему излучения. В то же время, электростатические МЭМС в значительной степени устойчивы к ионизирующему излучению, а такие полимерные материалы, как SU-8 или PDMS (полидиметилсилоксан) устойчивы к эффектам смещения [2].

При анализе надёжности МЭМС для использования в космических миссиях требуется учитывать интенсивность космических лучей, а также длительность миссии. Так, для не имеющих защиты МЭМС накопленная за год доза составит более 100 крад на низкой околоземной орбите и более 10 Мрад на геостационарной орбите. Это делает необходимым либо экранирование МЭМС для защиты от космических лучей, либо, если это невозможно, применение МЭМС, использующих другой физический принцип и изготовленные из других материалов, которые будут более устойчивы к радиационным воздействиям.

2 Исследование экранирования для микросистем, работающих в открытом космосе

На сегодняшний день исследование радиационной стойкости МЭМС носит, преимущественно, опытный характер: различные микросистемы подвергаются воздействию радиационного излучения, после чего делаются выводы о максимально допустимой для них накопленной дозе и причинах отказа. Зная минимальную дозу, необходимую для отказа микросистемы, а также условия её работы (высоту орбиты при известном составе частиц космических радиационных лучей), можно провести компьютерное моделирование необходимой защиты для безотказной работы МЭМС.

В качестве примера исследования был взят акселерометр ADXL 50 фирмы Analog Devices, минимальная накопленная доза для которого составляет 100 крад при воздействии на выполненный из поликремния датчик протонов с энергией 5,5 МэВ. При использовании этого акселерометра без защитной оболочки он быстро выйдет из строя вследствие воздействия испускаемых Солнцем протонов. Чтобы защитить МЭМС от радиационного воздействия, необходимо использовать защитный экран.

В докладе рассатривается случай использования качестве материала защитного экрана выберем алюминий. Это объясняется тем, что алюминий достаточно лёгкий и доступный материал. Для моделирования радиационных повреждений материала МЭМС, покрытого защитным слоем, была использована программа SRIM [3, 4].

На рис. 1 и 2 представлены результаты компьютерного моделирования глубины протикновения протонов с энергией 5,5 МэВ в различные материалы. На рис. 1 представлены результаты моделирования проникновения протонов в поликремний, на рис. 2 предсталвены результаты моделирования протонов в алюминий.

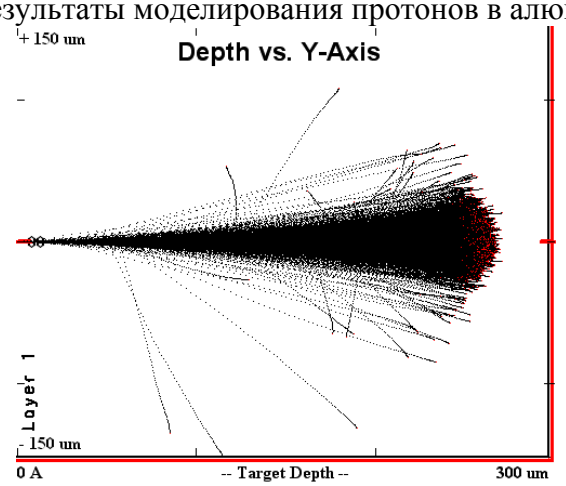


Рис. 1. Результаты компьютерного моделирования проникновения протонов в поликремний

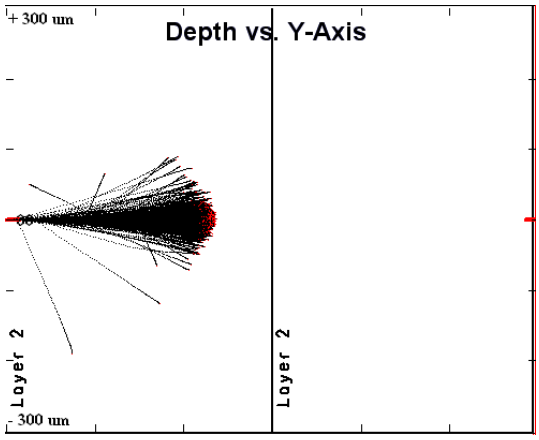


Рис. 2. Результаты компьютерного моделирования проникновения протонов в алюминий

Анализ рис. 1 и рис. 2 позволяет сделать вывод, что в материал поликремний протоны с энергией 5,5 МэВ проникают на глубину до 280 мкм, а в слой алюминия те же ионы будут проникать на глубину 230 мкм.

В таблице 1 систематизированы результаты компьютерного моделирования проникновения протонов с различной энергией протонов в алюминий.

Таблица 1

Энергия иона, МэВ	**Глубина проникновения, мкм**
10	622,71
11	735,35
12	856,24
13	985,24
14	1120

Анализ результатов, представленных в табл. 1, позволяет сделать вывод, что защитного экрана из алюминия толщиной в 1 мм будет достаточно для полной остановки протонов с энергией до 13 МэВ включительно.

Опытным путём было определено, что ионы водорода (протоны) обладают наибольшей проникающей способностью среди других заряженных частиц. Поэтому, определив материал и его толщину для достижения необходимого уровня защищённости МЭМС, можно сделать вывод, что этой же защиты будет достаточно и при воздействии на экран ионов других элементов с той же энергией.

Заключение

Для разработки и проектирования микроэлектромеханических систем, используемых в космических миссиях, необходимо исследование новых подходов к моделированию радиационного воздействия на МЭМС. В статье был рассмотрен пример компьютерного моделирования влияния толщины защитного экрана на работоспособность микросистем.

Возможность и способы моделирования воздействия на МЭМС других типов радиации (например, гамма-излучения) и радиационной стойкости микросистем различных типов (в том числе, использующих оптический и термоэлектрический принципы работы) требуют дальнейших исследований.

Литература

1. Shakhnov V., Zinchenko L., Kosolapov I., Filippov I. Modeling and Optimization of Radiation Tolerant Microsystems / EMS '14 Proceedings of the 2014 European Modelling Symposium. 2014. P. 484-489.
2. Shea H. Effects of Radiation on MEMS. // Proc. SPIE 7928. 2011
3. James F. Ziegler SRIM 2003 / Proceedings of the Sixteenth International Conference on Ion Beam Analysis. 2004. P. 1027-1036
4. Глушко А.А., Зинченко Л.А., Шахнов В.А. Моделирование воздействия тяжелых заряженных частиц на характеристики полевых транзисторов структуры “кремний на изоляторе”// Радиотехника и электроника. 2015. №7.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант 16-07-00676-а)

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУЙНОЙ ПЕЧАТИ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПРОВОДЯЩЕГО РИСУНКА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ В УСЛОВИЯХ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

Ванройе Н.К.
Научный руководитель: к.т.н. доц. Гриднев В.Н.
МГТУ им. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

USE OF INKJET PRINTING FOR DRAWING A CONDUCTIVE PATTERN OF PCB IN CONDITIONS OF RAPID PROTOTYPING

Vanroye N.K.
Supervisor: Ph.D in Engineering, Assoc. Prof. Gridnev V.N.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация.
В статье представлены общие сведения о наиболее распространенных методах изготовления прототипов печатных плат в лабораторных условиях. Представлены основные принципы работы с проводящими чернилами в печатной электронике. Подробно рассмотрен метод формирования проводящего рисунка с применением проводящих чернил на станке с ЧПУ.

Abstract.
The article presents an overview of the most common methods of prototyping of printed circuit boards in the laboratory. The basic principles of working with the conductive ink in printed electronics. Considered in detail the method of forming a conductive pattern using conductive ink on CNC machines.

Введение

Цель работы – описание способа изготовления печатной платы на станке с ЧПУ с применением проводящих чернил в качестве материала проводящего рисунка ПП.

Печатные платы (ПП) служат основой функциональных узлов электронного устройства и предназначены для размещения на них навесных компонентов с планарными и штыревыми выводами.

Одной из острых проблем современной электроники является быстрое макетирование и прототипирование устройства на различных этапах проектирования с получением опытных образцов, способных продемонстрировать полезные качества разрабатываемого прототипа. Использование специальных станков с ЧПУ для единичного изготовления печатных плат ускоряет процесс прототипирования, позволяя миновать затратные по времени операции: травление, ручное сверления отверстий и т.д.

1 Технологии изготовления печатных плат в лабораторных условиях

На этапе прототипирования от печатной платы не требуется высокой точности и качества изготовления. Плата должна быть работоспособной, без разрывов и замыканий в проводящем рисунке и иметь посадочные места нужных размеров для размещения и коммутации электронных компонентов на поверхности ПП.

Процесс изготовления прототипа печатной платы должен проходить в максимально быстрые сроки и должен быть недорогим. При этом технология должна включать в себя наименьшее число повторяющихся операций, затрачивать небольшие ресурсы и требовать минимальную технологическую оснастку.

Возможно применение нескольких методов изготовления прототипов печатных плат [4-6]:

1. Фотолитография. На обрабатываемую поверхность наносится фоторезист, который экспонируется светом через фотошаблон с заданным рисунком. Далее

проэкспонированные участки фоторезиста удаляются в проявителе. Получившийся на фоторезисте рисунок используется для таких технологических этапов планарной технологии, как травление, электроосаждение, вакуумное напыление и др. После проведения одного из этих процессов, остатки фоторезиста удаляются.

2. Фрезерование проводящих дорожек на прецизионном станке с ЧПУ. В качестве заготовки берется лист односторонне фольгированного стеклотекстолита. Формирование проводящего рисунка осуществляется за счет удаления фольги с поверхности заготовки фрезерованием на станке с ЧПУ.

3. Нанесение проводящего рисунка проводящими чернилами непосредственно на диэлектрик.

2 Общие принципы работы с проводящими чернилами

В последнее время проводящие чернила привлекают внимание, поскольку они подходят для получения металлических пленок или образования рисунка и печати.

Основа таких чернил – мельчайшие частицы металла, взвешенные в жидком наполнителе. После нанесения их на поверхность жидкость высыхает, и полученное изображение приобретает проводящие свойства (рис.1).

Применение обычных металлических красок затрудняет применение их в производстве печатных плат, поскольку между частицами краски имеет место высокое контактное сопротивление, ухудшающее проводящие характеристики рисунка. Для достижения рисунком высокой проводимости необходимо провести термическую обработку поверхности. Для получения однородной кристаллической структуры металла применяется отжиг, при котором снижается количество дефектов в структуре металлического рисунка и повышается электропроводность материала. Такая технологическая операция неприменима к изделиям, так как температура плавления стеклотекстолита FR4 составляет 125-150 ^{0}C, а температура термического отжига сплавов на основе серебра достигает температуры до 500 ^{0}C.

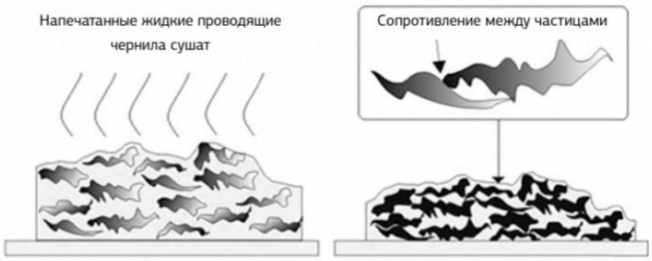


Рис. 1. Структура проводящих чернил

Проводящие чернила — наиболее значимый функциональный материал для создания проводящего рисунка будущей печатной платы. Проводящие чернила загружаются в картридж принтера для последующего поверхность диэлектрика.

Некоторые свойства проводящих чернил, используемых в прототипировании ПП:

1. Вязкость, согласованная с конструкцией печатающей головки устройства струйной печати для стабильной генерации капель необходимого размера.

2. Способность высыхания под влиянием нагревания платы с целью получения прочного проводящего слоя.

3. Высокая адгезия нанесенного рисунка к поверхности диэлектрического материала платы.

К адгезии предъявляются жесткие требования, однако в жидком состоянии с хорошей адгезией к поверхности чернила растекаются, рисунок искажается. Это значит, что в реальном производственном процессе растекание должно быть контролируемым, а процесс

подготовки поверхности запечатываемого материала должен быть управляемым. Таким образом, технологический процесс создания проводящего рисунка, например струйной печатью, будет включать несколько операций:

1. Подготовка поверхности диэлектрика.
2. Контроль вязкости чернил.
3. Печать чернил в соответствии с рисунком, заданным в управляющем файле формата CAD/CAM.
4. Термообработка проводящего рисунка.
5. Контроль сопротивления и геометрии тестовых проводников на соответствие конструкторской документации.
6. Электрический и оптический контроль топологии.

Все типы проводящих чернил содержат частицы проводящего материала. Чернила отличаются материалом и структурой проводящей частицы, характеристиками и составом жидкого наполнителя. Идеальные чернила имеют удельное сопротивление металла-наполнителя. Поэтому при описании результатов экспериментов или даже в спецификации на партии проводящих чернил исследователи часто указывают коэффициент превышения удельного сопротивления чистого металла. Проводник, сформированный струйной печатью серебряных чернил, имеет удельное сопротивление, превышающее удельное сопротивление серебра в 1,5 раза.

Ученые из университета штата Иллинойс Дженнифер Льюис, Ханс Турнауэр, профессор материаловедения и инженерии, а также аспирант Бритт Уокер разработали новые чернила, предназначенные для создания печатной платы способом непосредственного нанесения дорожек на материал основания. Эти чернила представляют собой аммиачный раствор ацетата серебра CH_3COOAg и отличаются высокой проводимостью, хорошим контактом с компонентами и неограниченной сложностью рисунка печатной платы.

Серебро остается в растворе, пока он наносится на основу, а после испарения жидкости, дорожки получают проводящие функции. Размеры частиц серебряной краски не превышают 100нм, что на порядок меньше частиц обычной краски. Малая вязкость позволяет использовать для нанесения серебряной краски технологию струйной печати или аэрограф. Реактивные серебряные чернила обладают ключевым преимуществом перед всеми металлическими красками: низкой рабочей температурой. Серебряные чернила получают электропроводность, близкую к электропроводности чистого серебра после отжига при температуре 90^0.

3 Станок для прототипирования печатных плат Voltera V-One

Voltera V-One представляет собой струйный 2D-принтер, печатающий проводящими чернилами. Его печатная головка движется в двух плоскостях и позволяют чертить дорожки любой сложности. Печать производится после загрузки файла с трассировкой платы в память станка.

Принцип работы станка похож на принцип работы струйного принтера (рис.2). В качестве чернил здесь используется электропроводящие чернила, которые посредством печатающей головки наносятся на заготовку платы из нефольгированного стеклотекстолита. При наличии в плате пересечений, в это место наносится специальный материал-изолятор. Изолирующий состав также наносится автоматически, для этого используется другой тип печатной головки.

Станок Voltera V-One имеет три режима работы: печать проводящего рисунка ПП, дозатор паяльной пасты и печь для запекания плат. Он печатает чернилами с серебряными наночастицами, что обеспечивает высокую проводимость рисунка. Если чернила заменить на изолирующий материал, то возможна печать двусторонних плат: изолятор наносится поверх первого проводящего слоя, что дает возможность нанести второй проводящий слой.

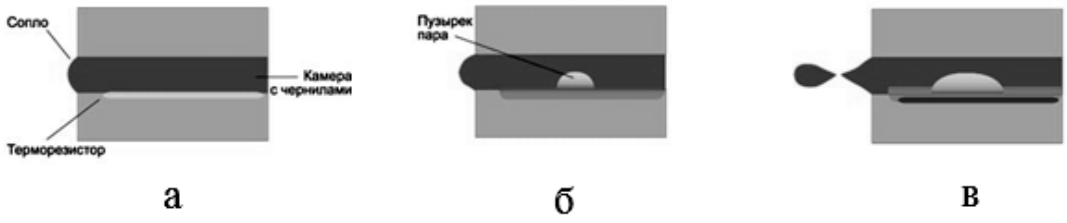


Рис. 2. Принцип струйной печати
а) камера с чернилами; б) образование пузырька пара; в) выдавливание чернил из камеры

Печатные головки – модульные, они легко монтируются и демонтируются благодаря магнитным захватам. Ширина дорожки составляет 0,2 мм, а сопротивление чернил сравнимо с сопротивлением меди. При печати односторонних плат используется головка с проводящим материалом. Для печати двусторонних плат для исключения замыканий между сторонами производится наносится изолирующий слой. Замена печатающей головки производится вручную. После печати проводящего рисунка и установки головки с паяльной пастой станок наносит паяльную пасту на контактные площадки для последующей установки SMD-компонентов и пайки [7-9].

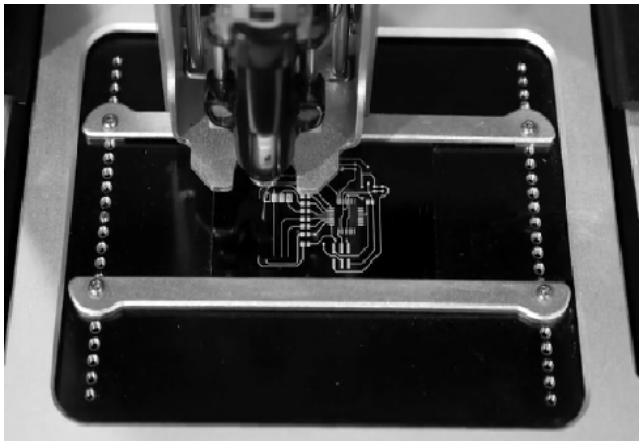


Рис. 3. Рабочее поле станка

Запекание платы и пайка паяльной пасты осуществляется нагревательными элементами, установленными под рабочим полем станка (рис.3).

Основные характеристики станка:

1. Типы печатных материалов:

– проводящие чернила с серебряными наночастицами
– паяльная паста
– изоляционный материал

2. Минимальная толщина дорожки: 0,2 мм
3. Материал печатной платы: нефольгированный стеклотекстолит FR4
4. Максимальная толщина платы: 3 мм
5. Температура нагревательного элемента: до 250^0C
6. Мощность нагревательных элементов: 550 Вт
7. Поддерживаемые форматы: Gerber (.gbr)

Заключение

Использование станка с ЧПУ для формирования проводящего рисунка с применением проводящих чернил позволит увеличить количество итераций по оптимизации платы без потери времени, существенно ускорит процесс разработки прототипа. Он облегчает прототипирование и ускоряет производство электроники.

Таким образом, применение средств быстрого прототипирования сокращает время выхода продукта с нескольких месяцев до нескольких дней и удешевляет процесс разработки.

Литература

1. Официальный сайт группы компаний «Диполь», электронный ресурс. Режим доступа: http://www.dipaul.ru/pressroom/pryamaya-pechat-provodyashchikh-materialov/ - Проверено 22.12.2015
2. Гриднев В.Н., Гриднева Г.Н. Проектирование коммутационных структур электронных средств – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2014.
3. Электронный ресурс. Режим доступа: http://geektimes.ru/company/dadget/blog/246644/ - Проверено 22.12.2015
4. Гриднев В.Н., Гриднева Г.Н. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ СТРУКТУР ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ - Москва, МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2014. Сер. «Конструирование и технология электронных средств». Том 2. – 344 с.
5. Алексеев В.Г., Гриднев В.Н., Нестеров Ю.И., Филин Г.В. ТЕХНОЛОГИЯ ЭВА, ОБОРУДОВАНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ - Москва, Высшая школа. 1984.
6. Гриднев В.Н., Яншин А.А. ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭВА - Москва, высшая школа. 1978. 288 с.
7. Арабов Д. И., Власов А. И., Гриднев В.Н., Григорьев П. В. КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВОГО ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА (FAB LAB) ДЛЯ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. №5.
8. Арабов Д.И., Вирясова А.Ю. , Гриднев В.Н. КОМПЛЕКСНОЕ МАКЕТИРОВАНИЕ УЗЛОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА (FAB-LAB) В УСЛОВИЯХ СКВОЗНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2016. Т. 1.
9. Курносенко А.Е., Соловьев В.А., Арабов Д.И. ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СОВМЕСТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ И МЕХАНИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ ИЗДЕЛИЯ В САПР SOLID EDGE/NX // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2014. № 3 (155). С. 85-89.

МАРШРУТ МАКЕТИРОВАНИЯ УСИЛИТЕЛЯ ГРОМКОСТИ СРЕДСТВАМИ ЦИФРОВОГО ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Вирясова А.Ю.
Научный руководитель: асс. Арабов Д.И.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

ROUTE OF PROTOTYPING OF THE AMPLIFIER OF LOUDNESS MEANS OF DIGITAL TOOL PRODUCTION

Viryasova A.U.
Supervisor: Arabov D.I.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье рассматривается создание конкретного усилителя, показаны проблемы, возникающие при его проектировании и методы их решения. Подробно исследована проверка корпуса на прочность. В заключении представлены рекомендациии по созданию усилителя с регулированием громкости.

Die Inhaltsangabe
El artículo trata de la creación de un amplificador específico, muestra problemas en su diseño y métodos de sus soluciones. Estudió en detalle la prueba de la vivienda de la fuerza. En conclusión, las recomendaciones sobre la creación de un amplificador con control de volumen.

Введение

Все любят слушать музыку, но качественный звук гораздо приятнее нашему уху. Поэтому в рамках данной работы был собран хороший усилитель. Основной которого стал PASS ZEN4. Использованная схема является высококлассным усилителем класса А. По звучанию, чистота получаемого звука может легко конкурировать с ламповыми усилителями, но в отличии от них он проще конструкцией и гораздо надежнее.

Хорошим дополнением к этому устройству стал регулятор, который может регулировать каждый канал отдельно и выводить уровень громкости на дисплей.

Для удобства эксплуатации и просто для придания респектабельного вида устройству так же был сконструирован прочный корпус, удовлетворяющий всем поставленным требованиям.

В результате при небольших доработках (добавления еще одного усилителя на второй канал регулятора), должно получиться отличное полезное устройство, которое будет долго радовать своего пользователя.

К разрабатываемому устройству предъявляются конкретные требования. Пользовательские требования: уровень громкости должен отображаться на дисплее, должно обеспечиваться стабильное управление кнопками, должен воспроизводиться звук, удовлетворяющий требованиям, усилителей класса А. Технические требования: напряжение питания: 220В, микросхема должна иметь возможность перепрограммирования, максимальная нагрузка в 8 Ом, должно обеспечиваться питание 5В для регулятора громкости, монтаж аудио контактов должен производиться акустическими проводами. Требования к конструкции: конструкция должна иметь разъемы под вход miniJack 3.5мм RCA, должна обеспечиваться система охлаждения для мощности 300Вт, изготовление корпуса производится методом лазерной резки из полиметиметракрилат (оргстекло), толщина стенок не менее 5 мм, фиксация стенок производится методом паз-в-паз, должны присутствовать 3 отверстия по 11 мм для установки кнопок регулирования, должны быть отверстия для установки радиатора, дисплея и отверстие под вентилятор, необходимо отверстие диаметром 7 мм для провода питания.

Условия эксплуатации: температура окружающей среды - от -10° С до +30° С, относительная влажность: при +30° С - от 30% до 80%, отсутствие вибраций и ударов. Требования по вибростойкости, по устойчивости к излучению и влаго- и пылезащите не предъявляются.

1 Разработка несущей конструкции

Крепление стенок корпуса межу собой производится методом паз-в-паз, а так же для дополнительной прочность применяются Т-образные отверстия рис. 1. которые крепятся винтом М3 и квадратной гайкой М3.

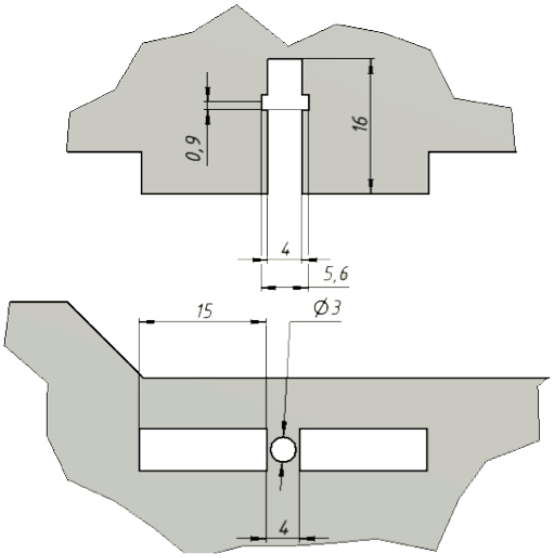


Рис. 1. Крепление стенок корпуса

В связи с тем что на 3-х транзисторах выходная мощность равна 300 Вт, необходима хорошая система охлаждения. Необходимая температура была достигнута при помощи вентилятора DP200A и радиатора на 100Вт.

Так как высота радиатора превышала толщину стенок, для стойкости конструкции были использованы ножки, высотой 9 мм, рис. 2 и в дне сделано отверстие рис 1.3

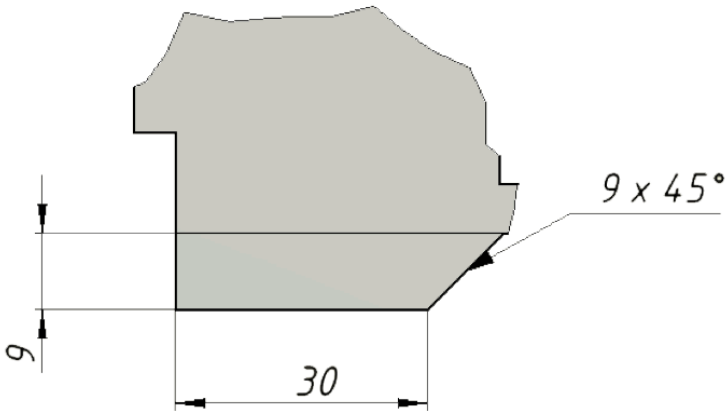


Рис. 1.2. Фиксаторы положения корпуса

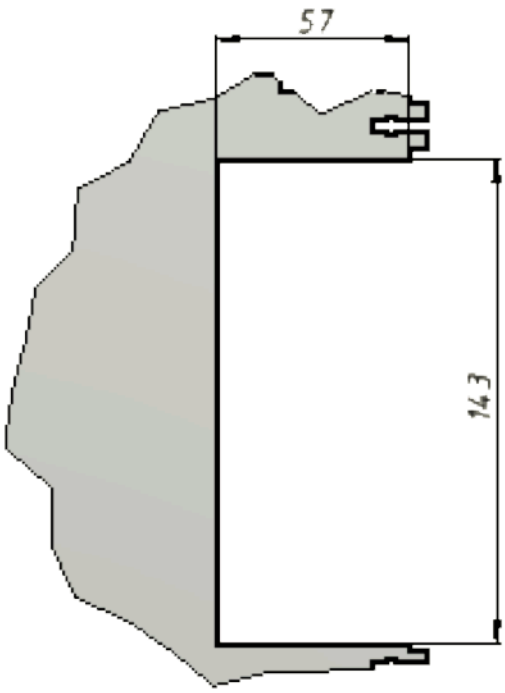


Рис. 3 Отверстие под радиатор

Для крепления вентилятора так же было сделано отверстие рис. 1.4

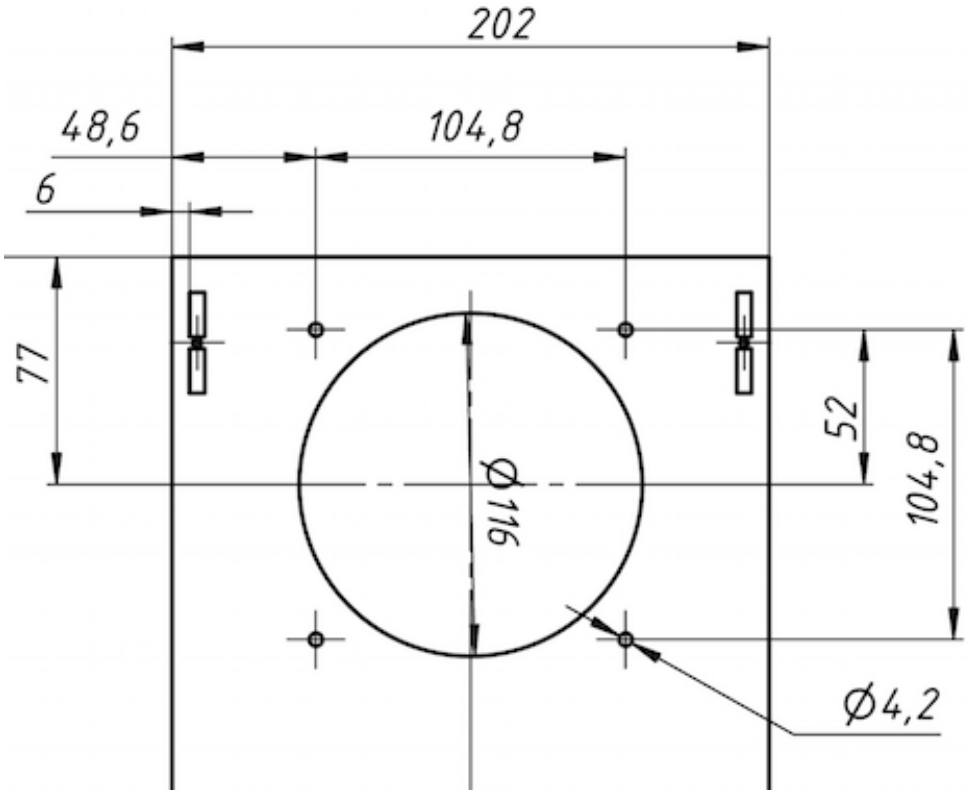


Рис 4 Крепление вентилятора

2 Проектирование интерфейса взаимодействия с пользователем и подключения

Для обеспечения взаимодействия с пользователем на передней стенке имеются отверстия для дисплея (поз. 2), 3-х кнопок регулирования (поз. 4), разъема RCA (поз.1), и входа miniJack(поз. 3). Общий вид представлен на рисунке 5

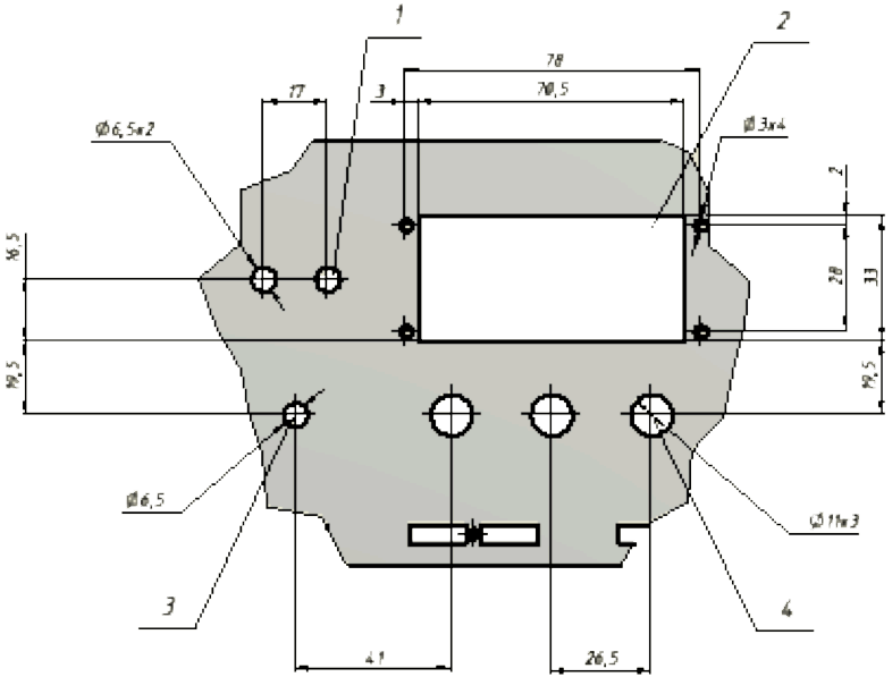


Рис. 5. Лицевая панель корпуса

Чтобы создать данный корпус было решено использовать лазерный гравер Trotec Speedy 300[3] конструкция которого представлена на рисунке 1.6 [5-7].

Рис. 6. Лазерный станок Trotec Speedy 300

В силу того, что «внутренности» корпуса выглядят не очень презентабельно, было решено затонировать корпус с внутренней белой алкидной автоэмалью.

[3] *http://www.troteclaser.com/en-US/Laser-Machines/Pages/laser-engraving-machines-speedy.aspx*

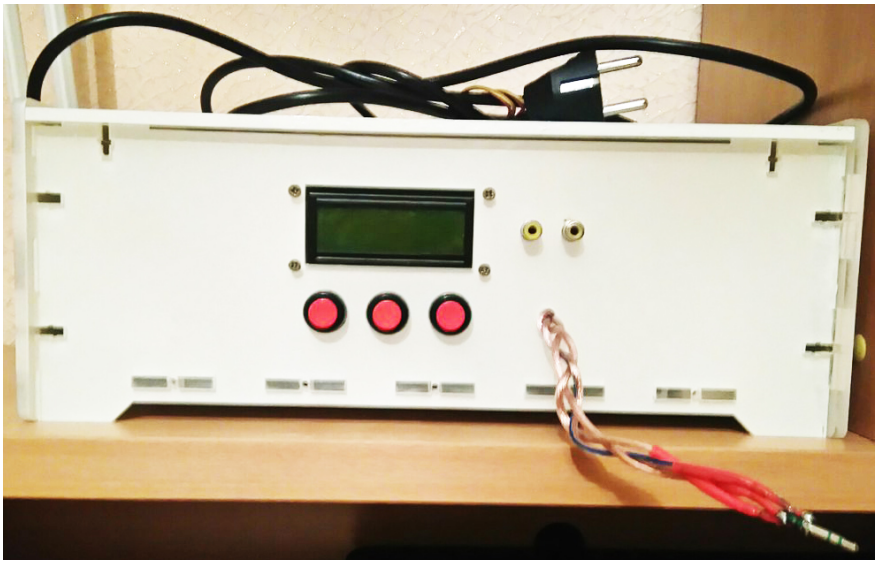


Рис. 7. Общий вид изделия в сборе

В результате было получено устройство, представленное на рисунке 7.

3 Анализ принцип работы и определение параметров печатной платы усилителя

Главной проблемой этого устройства является поднятие входного импеданса. На рисунке 8 показано как эта проблема была решена.

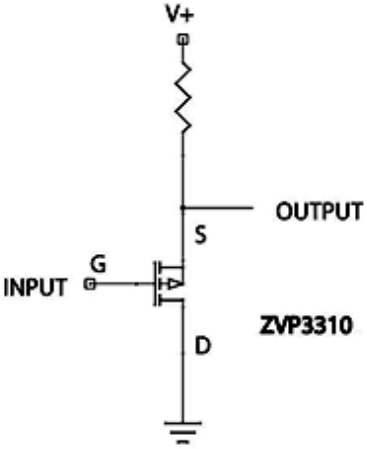


Рис. 8. Входной повторитель

В этой схеме использован p-канальный полевой транзистор со Стоком соединенным с земляным проводом и с Истоком смещенным источником тока, в данном случае эту роль выполняет простой резистор. Эта схема имеет ряд преимуществ, которые подробно описаны на сайте, который указан в использованных источниках[4].

На принципиальной схеме (ИУ4.2205.13-02.01.01.Э3) представлена принципиальная схема усилителя. Транзистор VT1 является добавленным буферным каскадом, смещение каскада организовано за счет резистора R13. Резистор R9 и конденсатор C7 являются фильтром напряжения поступающего на резистор R13. Цепь обратной связи R2 и R3, которая

[4]*https://www.passdiy.com/pdf/zen-v4.pdf*

ранее была соединена с затвором транзистора VT1 (блок транзисторов), теперь подсоединена к затвору транзистора VT1, и имеет двойное назначение, так как дополнительно еще и увеличивает входной импеданс усилителя до 47 кОм.

Приведенная схема рассчитана на ток покоя 2 ампера, чего более чем достаточно чтобы создать мощность в 25 Ватт на нагрузке сопротивлением в 8 Ом. Общее сопротивление параллельно включенных резисторов R0 и R1 составляет 0,33 Ома. При сохранении резисторов R0 и R1 и питающем напряжении в 42 Вольт усилитель будет рассеивать мощность порядка 100 Ватт.
Транзисторы VT2 (блок транзисторов) и VT3 (блок транзисторов) должны быть n-канальными, и способными выдерживать необходимый нам ток, примерно с мощностью рассеивания 150 Ватт и максимальным током не менее 10 Ампер. Эти транзисторы не вносят значительных изменений в качество звучания, по сравнению с транзисторами VT1(блок транзисторов) и VT1.

Конденсатор C4 является шунтирующим для C1. Конденсатор C2 может быть электролитическим или неполярным, однако он должен иметь емкость не менее 10 мкФ, для того чтобы не срезать нижний частотный диапазон.
Конденсаторы C8 и C10 являются простыми шунтирующими элементами. Обычно схема вполне работоспособна и без них, но они вносят ощутимый вклад с общую стабильность усилителя. Тоже самое справедливо и для конденсатора C12, который корректирует частотную характеристику таким образом чтобы избежать подъема на высоких частотах.
Стабилитроны VD2-VD5 рассчитаны на напряжение стабилизации 9,1 Вольт, что дает общее напряжение стабилизации порядка 36,4 вольт, которое является опорным для транзистора VT2(блок транзисторов) .

4 Особенности работы и определение параметров печатной платы регулятора

Важным элементом системы является регулятор громкости, структурная схема которого представлена на рисунке 9. В данной схеме был применен двухканальный цифровой (монолитный) потенциометр DS1868, он и исполняет роль регулятора громкости, управляет им микроконтроллер PIC18F2550. Чип DS1267 выпускается в трех "сопротивлениях": 10, 50, и 100 K версиях. В проекте использован DS1267-010, это версия 10K.

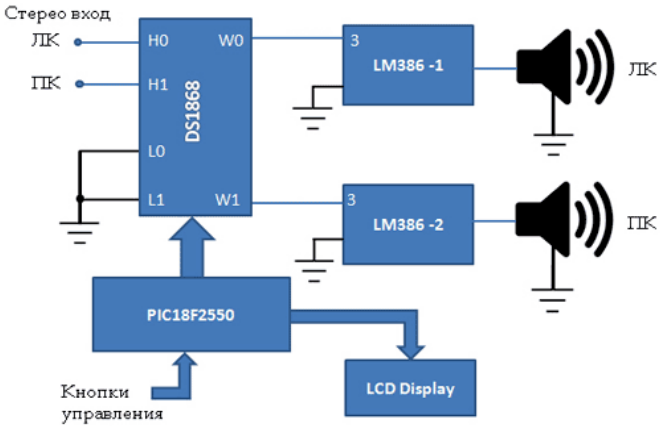


Рис. 9. Блок схема регулятора громкости

Связь потенциометра с контроллером осуществляется через 3х проводной последовательный интерфейс.

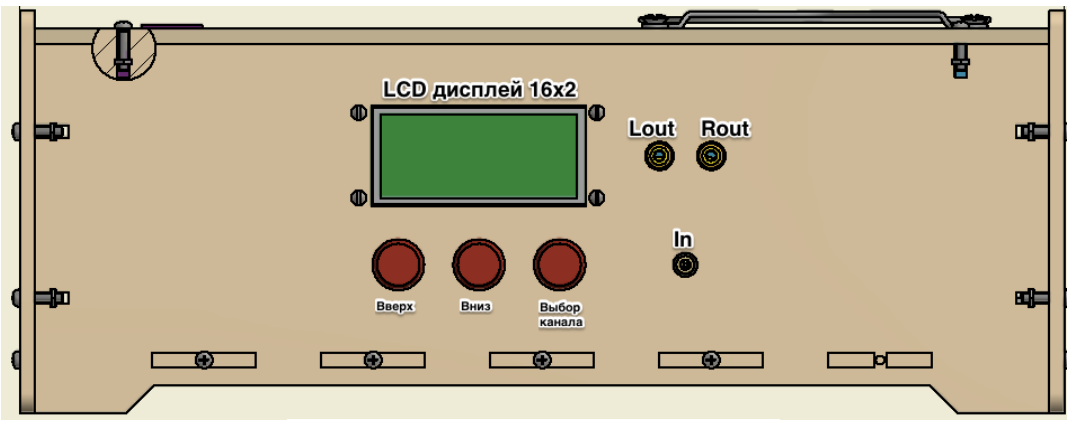


Рис. 10. Передняя панель усилителя

На плате регулятора имеются 3 кнопки: вверх, вниз, выбор, Кнопка "вверх" переключает режим или увеличивает значение параметра, кнопка "вниз" так же переключает режим и уменьшает параметры режима, а кнопка "выбор" предназначена для выбора режима и подтверждения. При помощи кнопки "выбор" Можно переключаться между параметрами (например регулировки правого или левого канала, т.е. баланса, рисунок 11).

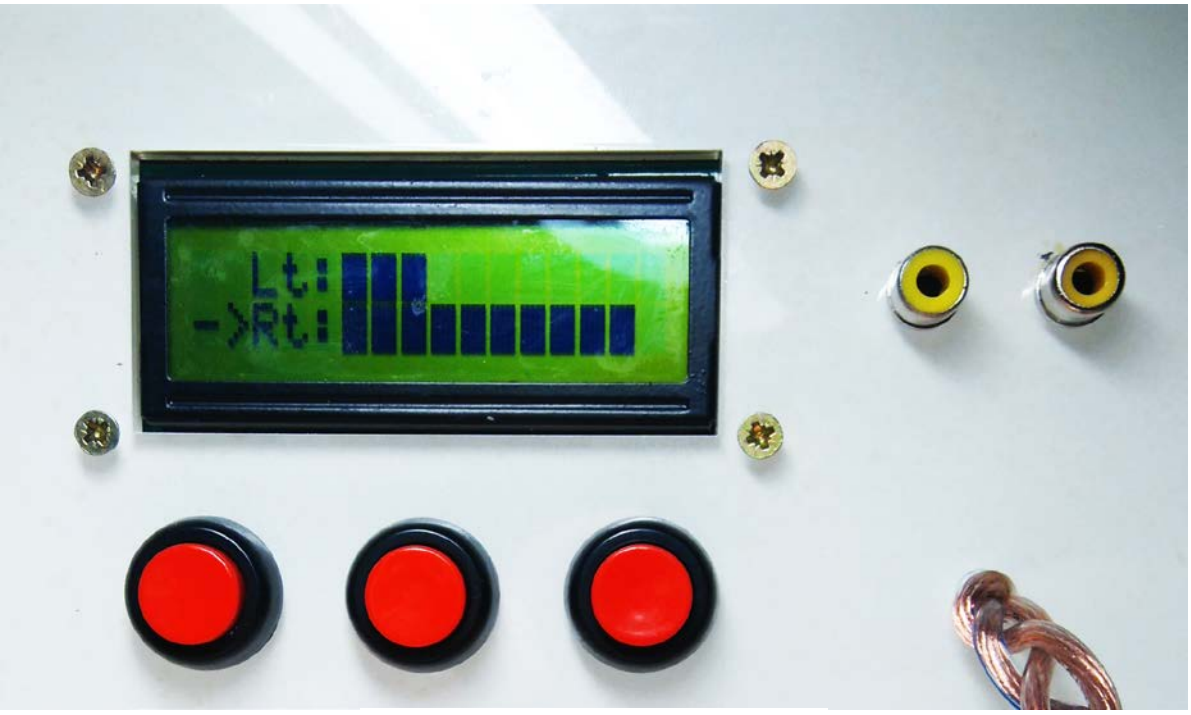


Рис. 11. Регулирование громкости

Так как регулирование громкости происходит за счет деления напряжения, чтобы звук сильно не ослаблялся на выходах потенциометра установлено 2 усилителя LM386. Уровень громкости выводится на LCD дисплей. LCD дисплей должен отображать 2 строки по 16 символов. Блок управления LCD по ТЗ должен быть основан на МК STM32F407VG. По техническим характеристикам питание LCD 5В/1mA, , до 30 В / 1 мА. Данным характеристикам удовлетворяет жидкокристаллический модуль MT-16S2D

Для удобства, вместо простого микроконтроллера была взята отладочная плата SturtUSB for PIC поз. 10 на сборочном чертеже регулятора (ИУ4.2205.13-02.01.12). Она питается от стандартного блока питания телефона, и на выходе выдает 5 В, не обходимых для питания всей схемы регулятора. Программа для контроллера написана в С, программатор можно использовать любой доступный.

4 Расчет надежности конструкции

Расчет надежности корпуса устройства проводится посредством пакета AutodeskInventor.

Так как корпус состоит из полиметиметракрилата (оргстекла), а этого материала в стандартном пакете нет ,пришлось создавать свой материал рис. 4.1. Необходимая информация была взята с сайта[5]

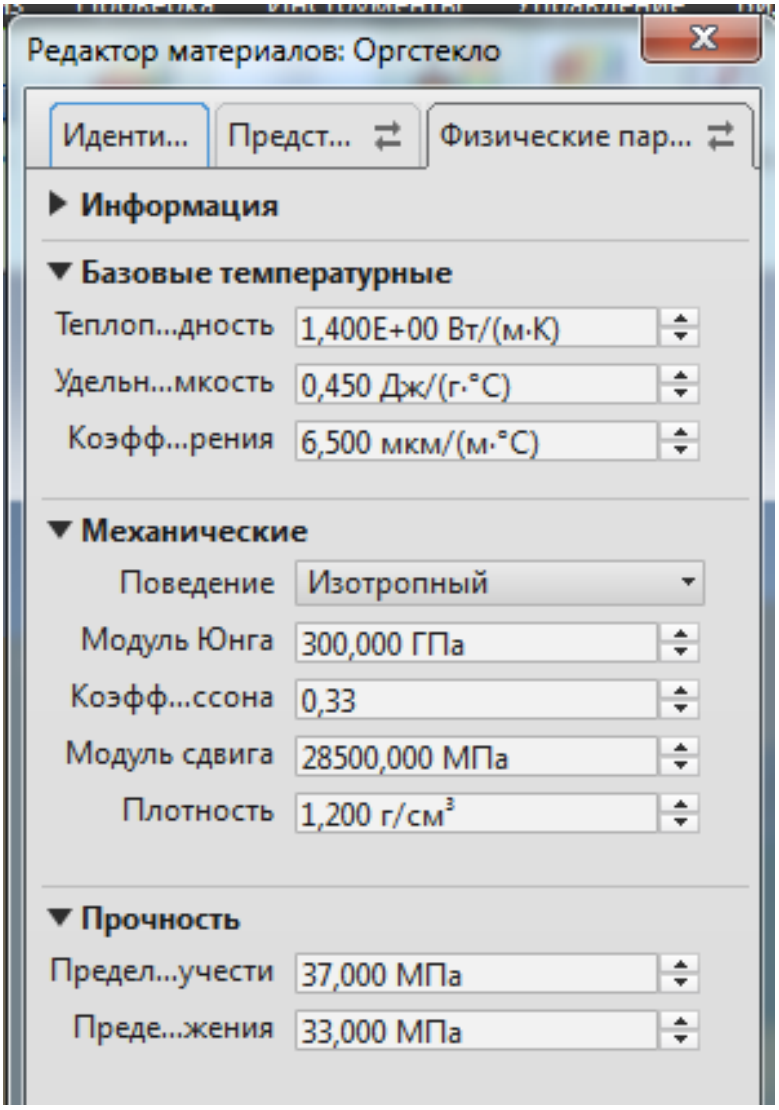


Рис. 12. Характеристики материала «оргстекло»

При статическом анализе фиксируются ножки корпуса.

Первая часть статического анализа проведена при приложении силы 2000Н на крышку корпуса.

[5] *http://plastics.ulprospector.com/generics/3/c/t/acrylic-properties-processing*

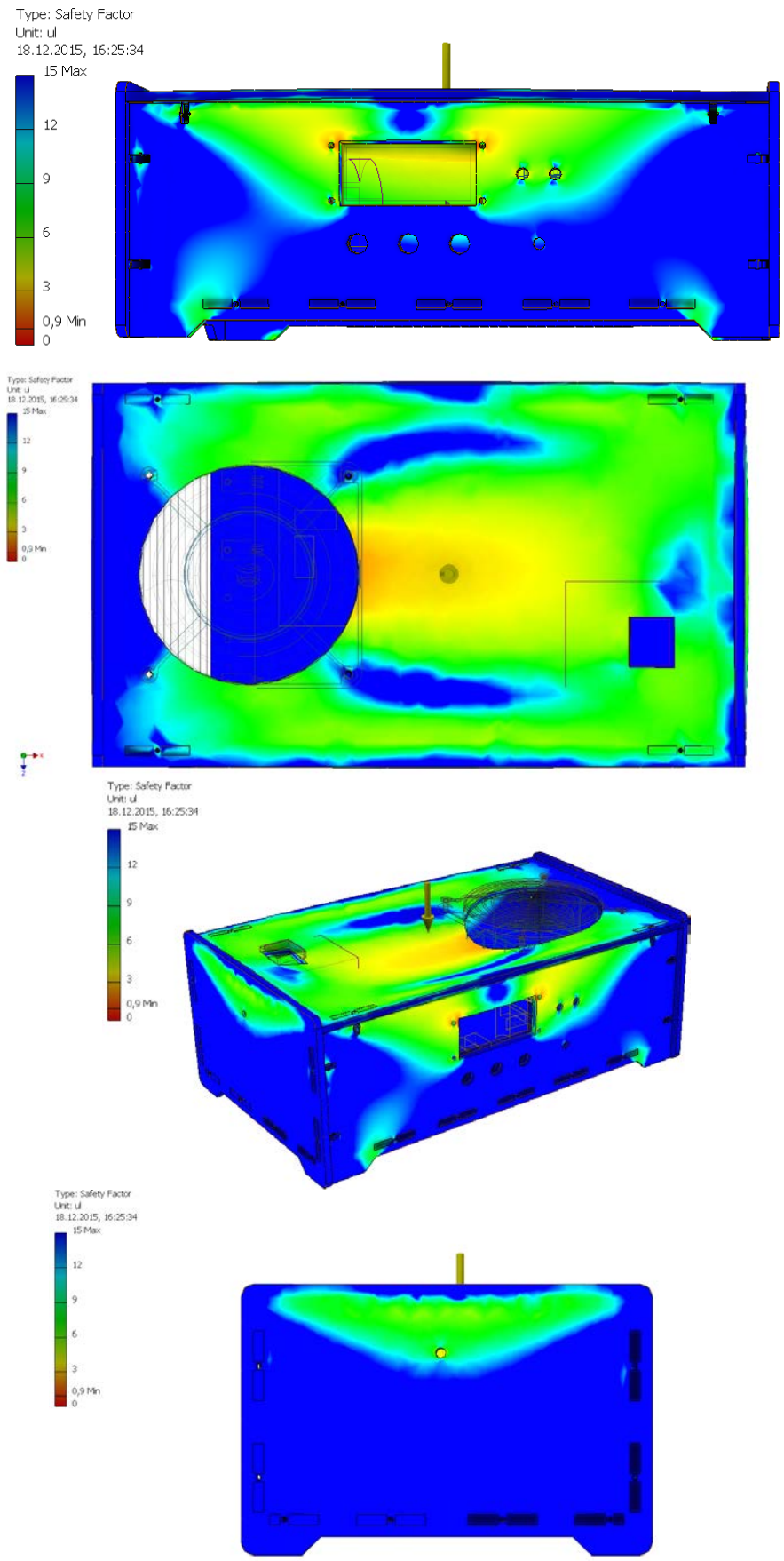


Рис. 13. Статический анализ, оценка коэффициента запаса

Рисунок 13 показывает, что коэффициент запаса прочности в тонком месте при такой нагрузке равен 3. Т.е. крышка корпуса выдержит нагрузку в 3 раза больше приложенной

Так как экспериментально при разборки корпуса боковая стенка раскололась, была промоделирована данная ситуация. Для этого закрепил пазы одной стороны стенки (отмечены красным) приложили к стенке силу равную 200Н. Результат моделирования представлен на рисунке 14.

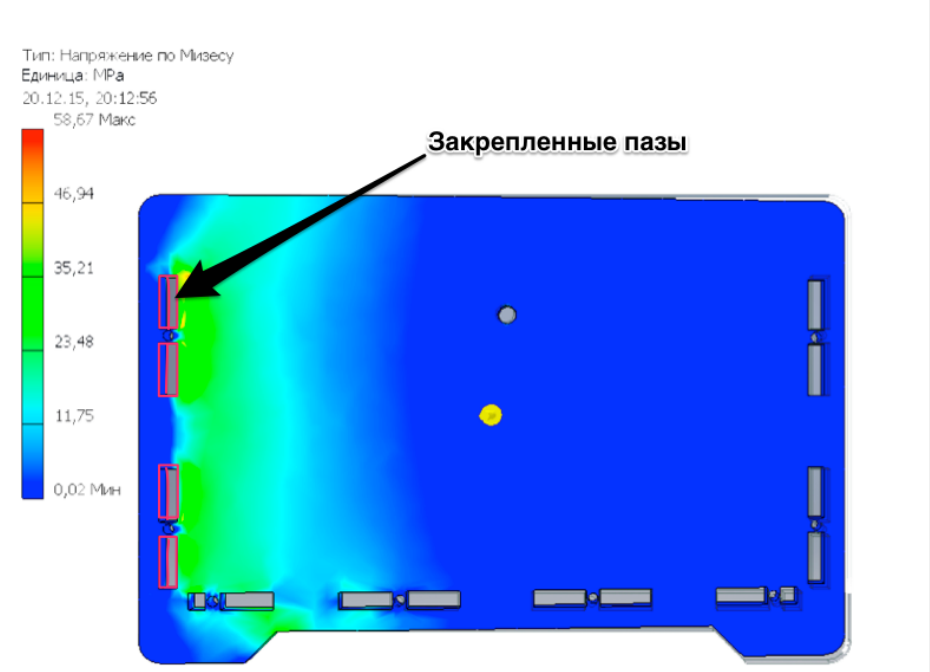


Рис. 14. Статический анализ напряжений стенки

Как видно из рисунка 15, получено значение давления, при котором напряжения в плате превышают предел текучести материала – 58,67MPa

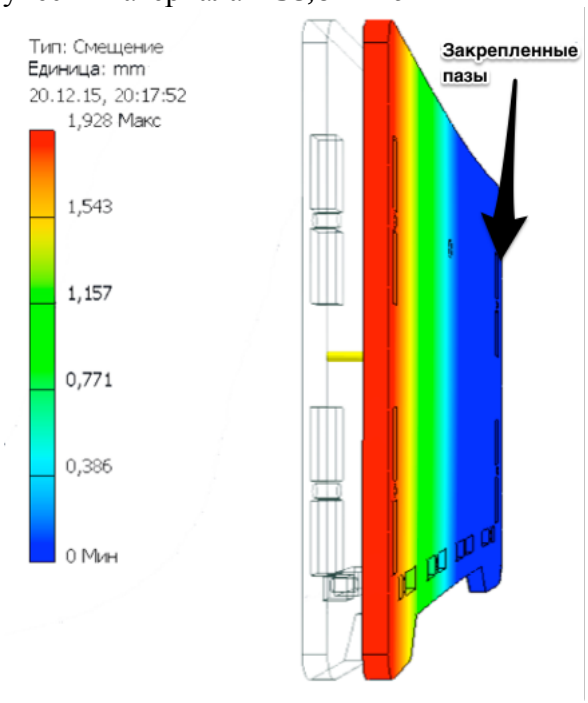


Рис. 15. Смещение

На рисунке 16 показано, что до разлома стенки, максимально можно сместить вторую сторону стенки на 1,928мм

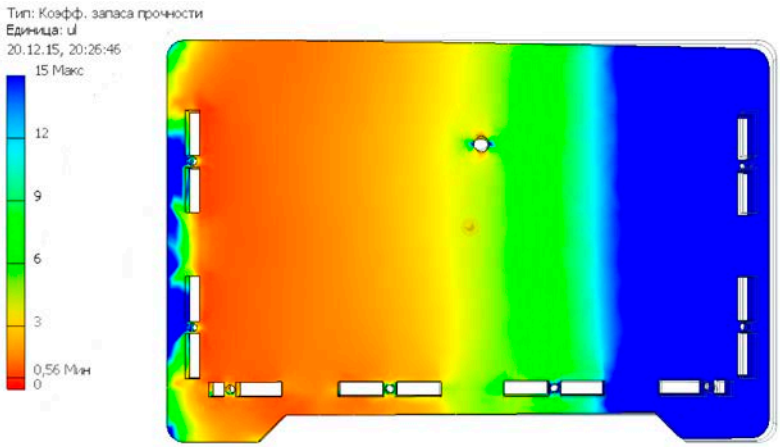


Рис. 16. Коэффициент запаса прочности

Из рисунка 16 видно, что возле закрепленных пазов произошел разлом, что подтверждено экспериментально рис. 17.

Рис. 17. Эксперимент

Так как никаких требований по температурной устойчивости, виброзащите, защите от воздействия ударов, излучений и прочих дестабилизирующих факторов заказчик не предъявляет, анализ на устойчивость по этим параметрам не проводится.

5 Анализ проблем при создании конструкции

Большая выходная мощность. Схема усилителя PASS ZEN работает в некоторых местах на очень высокой мощности (порядка 300Вт) при создании первого образца платы, дорожки быстро перегорали, поэтому в последствии пришлось переразводить плату.

Вторая проблема, которую понесла за собой высокая мощность, это сильный перегрев силовых транзисторов. Даже после выставления рабочего напряжения, без радиатора схема не работала и минуты. Так как ставить огромный радиатор было очень проблематично, было решено посадить транзисторы на небольшой радиатор (порядка 100Вт) и сверху в корпус вмонтировать вентилятор. Это решило проблему.

Подбор источника питания. Так как изначально схема питания была рассчитана на питание от Американских розеток (120В) для адаптирования ее под российскую понадобился трансформатор на 36В и 3А. Найти его тяжело, да и стоит он больших денег, поэтому этот

трансформатор был замен на 24В и 3А. После прохода схемы выпрямления, на питание основного устройства вместо необходимых 50В подавалось около 40В. Для нормальной работу устройства пришлось корректировать схему (убирать стабилитрон и менять некоторые резисторы)

Несовместимость устройств. Изначально сборка задумывалась следующим образом: питание для усилителя и регулятора общее, сигнал поступает на усилитель, а с него на регулятор, где сигнал регулируется и выводится на колонки. Но проблема в том, что при подаче на регулятор моно сигнала, его МК выбивало. Поменять их местами тоже не представляется возможным, так как смысла подавать отдельно отрегулированный стерео сигнал на моно вход нет. Для корректной работы, усилитель ставится на каждый выходной сигнал регулятора.

Анализ ошибок проектирования. Первая ошибка, с которой я столкнулась, это когда я развела схему до того как купила элементы, соответственно половина из них было некуда ставить и пришлось выносить на провода. Вторая это когда я пыталась запустить схему усилителя, не выставив рабочего напряжения. Третья и самая глупая ошибка, это когда при проектировании платы, половина потенциометра должна была стоять «шапочкой» вверх, а другая вниз. Последней ошибкой было покрытие стенки, покрашенной краской, лаком, так как вся краска сразу же слезла.

Заключение

В рамках данной работы составлена документация на усилитель, выполнены необходимые и достаточные анализы конструкции устройства, описана элементная база устройства и его принцип работы.

Так же в данной работе описаны ошибки и подводные камни которые я нашла и которые для были исправлены.

В результате получено готовое, функционирующее устройство, которой исправно работает.

Литература

1. Усилитель Pass Zen4 [Электронный ресурс]. URL: https://www.passdiy.com/pdf/zen-v4.pdf (дата обращения 12.12.2015).
2. Цифровой регулятор громкости. [Электронный ресурс]. URL: http://cxem.net/sound/tembrs/tembr9.php (дата обращения 22.11.2015).
3. Лекции Леонидова В.В. «Проектирование микропросессоров» 2015г.
4. Справка по автодеск инвентор. [Офиц. сайт]. URL: http://help.autodesk.com/ (дата обращения 21.12.2015).
5. Арабов Д. И., Власов А. И., Гриднев В.Н., Григорьев П. В. КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВОГО ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА (FAB LAB) ДЛЯ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. №5.
6. Арабов Д.И., Вирясова А.Ю. , Гриднев В.Н. КОМПЛЕКСНОЕ МАКЕТИРОВАНИЕ УЗЛОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА (FAB-LAB) В УСЛОВИЯХ СКВОЗНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2016. Т. 1.
7. Курносенко А.Е., Соловьев В.А., Арабов Д.И. ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СОВМЕСТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ И МЕХАНИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ ИЗДЕЛИЯ В САПР SOLID EDGE/NX // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2014. № 3 (155). С. 85-89.

ПРИМЕНЕНИЕ ГРАНУЛЯРНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ СТУКТУР В КОГНИТИВНЫХ ИНФОКОММУКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ НАНОИНЖЕНЕРИИ

Умбатова М. Э., Верстов В.А.
Научный руководитель: д.т.н., проф., Зинченко Л. А., к.т.н., доц. Резчикова Е.В.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

GRANULAR COMPUTING IN COGNITIVE NANOENGINEERING INFOCOMMUNICATIONS

Umbatova M. E., Verstov V. A.
Supervisor: Dr., Prof., Zinchenko L. A., PhD, As. Prof. Rezchikova E.V.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье рассмотрены особенности использования когнитивных инфокоммуникационных технологий при решении различных задач наноинженерии. Особое внимание уделено проблеме взаимодействия человека и машины в различных прикладных задачах наноинженерии.

Annotation
In this paper, we outline features of cognitive infocommunication technologies for nanoengineering. We also discuss human-machine interface in nanoengineering applications.

Введение

Когнитивные технологии концентрируются на исследовании основных мыслительных процессов человека [1]. Применение когнитивных технологий при решении различных прикладных задач наиболее выигрышно при описании слабоструктурированных систем, характеризующихся многоаспектностью происходящих в них процессов, отсутствием достаточной количественной информации об их динамике и их нечеткостью, изменчивостью характера процессов во времени и т. д. Основной целью применения когнитивных технологий в информационных системах является обеспечение представления информации в виде, наиболее удобном для восприятия человеком.

1 Особенности когнитивных инфокоммуникационных технологий

Когнитивные инфокоммуникационные технологии [2] могут быть классифицированы по различным критериям (Рис. 1).

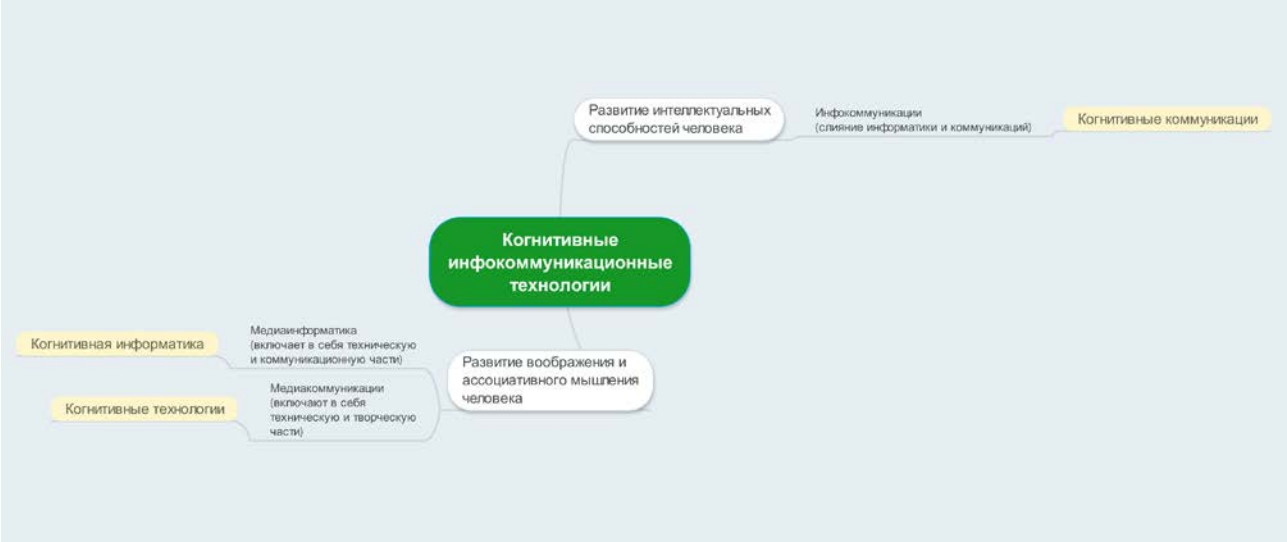


Рис. 1. Классификация когнитивных инфокоммуникационных технологий

В зависимости от особенностей когнитивных объектов, передающего и принимающего информацию, возможны следующие типы когнитивных инфокоммуникационных систем [2]:

- системы с интра-конгитивной передачей информации. Этот вид передачи информации наблюдается при передаче информации между двумя когнитивными объектами с эквивалентными познавательными способностями (например, между людьми или межу агентами в многоагентной системе);
- системы с интер-когнитивной передачей информации. Этот вид передачи информации наблюдается при передаче информации между двумя когнитивными объектами с различными когнитивными способностями (например, между человеком и искусственной когнитивной системой).

В зависимости от способа представления передаваемой и получаемой информации возможны следующие типы когнитивных инфокоммуникационных систем:

- в инфокоммуникационной системе используется единый тип сенсора для передачи и получения информации (визуальный, звуковой и т.д.).
- в инфокоммуникационной системе переданная когнитивным объектом сенсорная информация обрабатывается и преобразуется в такой тип, что она доступна для восприятия когнитивным объектом, принимающим информацию.
- в инфокоммуникационной системе используется единое представление информации для связанных когнитивных объектов.
- в инфокоммуникационной системе переданное представление информации преобразовывается таким образом, чтобы оно было понятно когнитивному объекту, получающему информацию.

Необходимо отметить, что человеческий мозг лучше работает с образами и ассоциациями [1]. Левое и правое полушария имеют функциональную асимметрию. За логику отвечает преимущественно левое полушарие, а за интуицию – правое. При применении определённых методов восприятия и систематизации информации, например, структурно-логических схем (ментальных карт) [3] можно задействовать оба полушария и добиться желаемого результата высокого уровня в поставленной задаче.

2 Возможности применения когнитивных инфокоммуникационных технологий в наноинженерии

В настоящее время когнитивные инфокоммуникационные технологии активно развиваются. Развернувшиеся во второй половине 20-го века работы по автоматизации отдельных функций и областей деятельности человека проходили под лозунгом освобождения оператора от рутинных и несвойственных ему сенсомоторных задач. Предполагалось, что за человеком-оператором постепенно останутся только функции когнитивного контроля за работой технических систем. С развитием информатики, электроники и когнитивных технологий стали создаваться системы относительно полного технического контроля и исполнения действий (такие, как Flight Management Systems, используемые в военной и гражданской авиации для автоматического управления основными режимами полета). Постоянное увеличение степени сложности техники требовало от человека-пользователя сопоставимых, все более серьезных усилий по обучению и пониманию работы систем. Одновременно, из-за технических и финансовых ограничений автоматизации часто подвергались относительно изолированные фрагменты деятельности.

Результаты подобной фрагментарной замены человека компьютерными системами часто оказывались неудовлетворительными. В этих полуавтоматизированных системах скорее сам человек оказался под контролем автоматов, чем наоборот. Известный инженерный психолог Б.Ф. Ломов [5] предупреждал об опасности такого развития, выдвинув вместе со своими коллегами принцип «активного оператора». Изначально в схеме Ломова

«человек-машина» человек рассматривается как звено особого рода: он организует систему для получения конкретного результата (заранее обдуманного). Особенностью человека в представленной схеме есть готовность к неординарным действиям в трудных ситуациях и способность к рефлексии своего труда. При таком подходе становится необходимо исследовать структуру деятельности человека с психологической точки зрения, что приводит к познанию объективных связей социальных и природных свойств человека, соотношение биологических и социальных оснований в его развитии. Соответственно, главным недостатком использования инфокоммуникационных систем стало то, что оператору временами приходится действовать в еще более экстремальном диапазоне нагрузок, чем прежде. Относительно легкие задачи упростились за счет их автоматизации, тогда как трудные задачи стали более сложными в силу усложнения самих человеко-машинных систем, а также из-за того, что решать их приходится внезапно и из состояния недонагрузки. При внезапных повышенных нагрузках в условиях жестких временных ограничений возникает состояние острого стресса, меняющее протекание практически всех познавательных процессов. Центральной проблемой сегодня становится выравнивание этого дисбаланса, то есть избирательная поддержка (вплоть до полной замены) человека в тех случаях, когда он находится на пределе своих возможностей, и, напротив, эпизодическая передача ему дополнительных функций (например, ручного управления самолетом) в периоды потенциально опасной недонагрузки. В общей сложности, все основные функции управления сложной техникой сводятся к преобразованию информации, циркулирующей в данной системе. В результате возникает новая задача адаптивной автоматизации.

При построении человеко-машинных интерфейсов необходим выбор некоторого единого языка для описания работы человека и функционирования технических систем. Наиболее подходящим языком такого описания вначале считалась теория информации. С накоплением опровергающих это мнение данных, а затем и с возникновением задачи адаптивной автоматизации стали меняться акценты, так что иногда сами машины стали описываться в антропоморфных терминах как продукты (артефакты) деятельности человека. Так, в работе [6] было предложено рассматривать все компоненты человеко-машинных систем в контексте трех, известных из теории деятельности вопросов: «для чего?», «что?» и «как?». В [6] также была предложена трехуровневая модель операторской деятельности, в которой на самом низком уровне поведение находится под контролем автоматизированных навыков, на втором — хранящихся в памяти правил и на третьем — знаний о ситуации. Данная модель используется для классификации ошибок оператора. В зависимости от уровня возникновения такие ошибки влекут за собой разную степень ответственности. Например, авиадиспетчер может просто перепутать похожие команды (неудачно расположенные рядом кнопки) или же, подумав, сознательно направить два самолета на одну и ту же посадочную полосу.

Недостатком этих моделей является то, что они были совершенно недостаточно обоснованы с точки зрения когнитивных исследований. В частности, их авторы полностью игнорировали нейрофизиологические и нейропсихологические данные, столь важные, как становится очевидным в последние годы [1], для создания более реалистических представлений о специфических особенностях и ограничениях возможностей человека в его взаимодействии с техническими системами. Эти данные впервые заложили теоретико-экспериментальную основу для прикладных исследований на границе психологии и новых технологий. Таким образом, развитие инженерной психологии и такого нового ее раздела, как когнитивная эргономика (дисциплина, занимающаяся оптимизацией взаимодействия человека и компьютерных систем), сегодня находится под прямым влиянием исследований в области когнитивных технологий.

Основные экспериментальные работы данного характера имеют прикладной характер и направлены на возможно более точное описание ограничений информационной пропускной способности человека. К числу основных ограничений относят следующие:

- время реакции выбора. Наблюдается замедление времени реакции с увеличением числа альтернатив.
- избирательность (селективность) внимания. Невозможно одновременно и в равной степени следить за содержанием двух различных сообщений.
- колебание внимания. Невозможно в течение сколько-нибудь продолжительного времени с одинаковым вниманием следить, скажем, за результатами работы зондового микроскопа.
- психологический рефрактерный период. Наблюдается задержка реакции на втором из двух следующих друг за другом с достаточно малым интервалом (менее 150 мс) стимулов.
- объем непосредственной памяти. Невозможно запомнить после однократного предъявления более чем 5—7 не связанных между собой объектов или символов.

В [7] было показано, что ограниченность объема кратковременной памяти определяется совсем не количеством объективно измеренной в битах информации, а относительно небольшим количеством (порядка 7) гранул субъективной информации. В качестве подобных гранул в непосредственной памяти могут выступать буквы или цифры, слова или, например, короткие предложения. Количество информации будет во всех этих случаях совершенно различным. Размеры этих единиц меняются в процессе обучения [7]. Так, для человека, совершенно незнакомого с нанотехнологиями, слово УНТ представляет собой последовательность трех гранул «У», «Н», «Т», тогда как для экспертов в области нанотехнологий, знающих о понятии углеродной нанотрубки (УНТ) — всего лишь одну гранулу.

Перечисленные выше ограничения накладывают дополнительные требования при использовании когнитивных инфокоммуникационных технологий в наноинженерии.

Если представить себе систему связи, то легко понять, что для неё характерна большая изменчивость как того, что поступает в систему, так и того, что из неё выходит. Следовательно, вход и выход системы можно описать посредством их изменения (или их информации). Если проследить эту зависимость, то можно определить, какая часть входных измерений определяется входом и какая часть возникает из-за случайных флуктуации (погрешностей), вносимого системой при передаче. Для уменьшения процента погрешностей и более качественной передачи информации используется перекодирование, которое в свою очередь является очень важным психологическим процессом и заслуживает большого внимания. В частности, тот вид лингвистического перекодирования, которым поминутно пользуются люди, представляется, по мнению Дж. А. Миллера, жизненной основой мыслительных процессов. Клиницисты, социальные психологи, лингвисты и антропологи постоянно сталкиваются с процессами перекодирования. В настоящее время проводятся исследования по разработке экспериментальных методик, нахождении наиболее рациональных способов перекодирования.

Также стоит отметить, что предлагаемые теорией информации методики и меры дают возможность количественного подхода к решению некоторых задач. Теория информации даёт единицу измерения для калибровки материала и для измерения характеристик испытуемых. Теоретико-информационные понятия уже оказались весьма полезными при изучении процессов распознания и лингвистических проблем; они могут быть полезными при изучении процессов обучения, связанных с памятью явлений.

Необходимо отметить, что, несмотря на развитие инфокоммуникационных технологий, к компетенции человека относятся задачи по принятию решения в условиях многокатегориального выбора. В подобных задачах существует несколько качественно различных систем критериев и несколько (обычно более двух) альтернативных решений. Специфически человеческим звеном здесь является, прежде всего, оценка относительной важности (весовых коэффициентов) различных критериев. Такая оценка довольно субъективна и не может быть сведена к одному критерию, даже такому существенному, как

критерий стоимости. Например, если речь идет о выборе проекта нового предприятия, то наряду с критерием стоимости строительства (возможно, в сочетании с ожидаемыми доходами — критерий cost/ benefit) важную роль в том или ином контексте могут играть также и другие критерии, такие как критерии престижности или экологической безопасности. Сравнительную оценку важности критериев в каждом конкретном случае может дать только лицо, принимающее решение.

В качестве простейшей исчерпывающей процедуры получения весовых коэффициентов отдельных критериев и их агрегации в общую оценку альтернатив может быть использована следующая последовательность шагов [4]:

1. Упорядочить критерии по важности.
2. Присвоить наиболее важному критерию оценку 100 баллов и, исходя из попарного отношения критериев по важности, дать в баллах оценку каждому из них.
3. Сложить полученные баллы, а затем произвести нормировку критериев (вычислить их весовые коэффициенты), разделив присвоенные баллы на сумму весов.
4. Оценить значение каждой альтернативы по каждому из критериев в отдельности по шкале от 0 до 100 баллов.
5. Определить общую оценку каждой альтернативы, используя формулу взвешенной суммы баллов (то есть просуммировать оценки данной альтернативы по всем критерием с учетом весовых коэффициентов последних).
6. Выбрать в качестве лучшей альтернативу, получившую наибольшую общую оценку.

Необходимо отметить, что в инженерии накоплен экспертный опыт при решении задач проектирования объектов, относящихся к мезомиру. При этом практически отсутствует опыт упорядочивания критериев по важности при решении задач наноинженерии, относящейся к микромиру.

В связи с этим при принятии решений необходим переход от классической сентенциальной (пропозициональной) логики к неклассическим логикам.

Отметим, что в классической логике понятие истинности и ложности может рассматриваться как предикат, как оператор или как абстрактный объект. Однако высказывания различных видов, подчиняющиеся классической логике, являются попарно эквивалентными.

Складывается ситуация, в которой при невозможности оценки истинности того или иного высказывания необходимо использовать неклассические логики. В статье обсуждаются возможности применения логики Клини при решении различных задач наноинженерии.

В логике Клини [8] имеется три логических значения: Истинно (T), Ложно (F) и неопределенность (U). Таблицы истинности для основных логических операций в логике Клини определяются следующим образом (табл. 1-3):

Табл. 1. Таблица истинности для логической операции отрицание в логике Клини

X	¬X
F	T
U	U
T	F

Табл. 2. Таблица истинности для логической операции дизъюнкции в логике Клини

X∨Y	Y		
X	**F**	**U**	**T**
F	F	U	T
U	U	U	T
T	T	T	T

Табл. 3. Таблица истинности для логической операции конъюнкции в логике Клини

X∨Y	Y		
X	**F**	**U**	**T**
F	F	F	F
U	F	U	U
T	F	U	T

Для оценки важности критерия при решении задач наноинженерии предлагается использовать грануляцию информации о важности этого критерия в терминах логики Клини (рис. 2.). На рисунке 2 *I* – уровень истинности важности критерия, *K* – порядок знания о важности критерия.

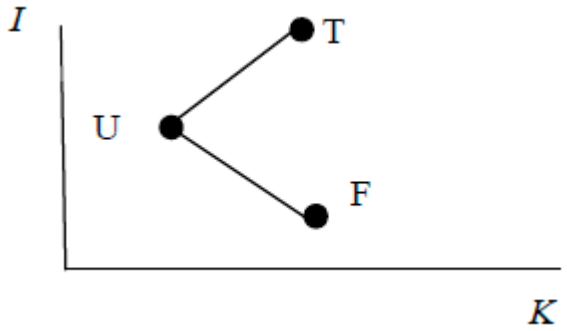


Рис. 2. Грануляция информации при оценке важности критерия при решении задач наноинженерии

Заключение

В статье рассмотрены особенности применения когнитивных инфокоммуникационных технологий при решении различных задач наноинженерии.

Разработчики САПР наносистем также сталкиваются со сложностью визуализации реальных объектов наноинженерии. Чтобы проектировщик полностью мог использовать накопленный опыт решения инженерных задач, он должен представлять, что объекты наноинженерии являются действительными. Это можно проиллюстрировать на примере воды. Её визуализация должна быть настолько чёткой, чтобы у человека возникло желание окунуться в неё. Аналогично, при визуализации нанотрубки должно возникать ощущение реального объекта. При визуализации объектов в режиме реального времени возникает ещё одна немаловажная проблема: работа в режиме реального времени требует обеспечения быстродействия и синхронизацию данных за относительно небольшое время. Для решения этой проблемы необходимо обладать достаточными ресурсами для поддержания эксперимента, которая на данный день остаётся нерешённой в наноинженерии, и грамотной реализации обратной связи в системе «человек-машина».

Дальнейшая задача состоит в разработке подходов, позволяющих преодолеть описанные проблемы при решении различных задач наноинженерии.

Литература

1. Борис М. Величковский Когнитивная наука: основы психологии познания, ACADEMA, 2006.
2. P. Baranyi, Á. Csapó, Definition and Synergies of Cognitive Infocommunications, Acta Polytechnica Hungarica, vol. 9, No. 1, pp. 63-87, 2012.
3. V. Shakhnov, L. Zinchenko, E. Rezchikova. Simulation and Visualization in Cognitive Nanoinformatics. International journal of mathematics and computers in simulation, vol. 8, pp. 141-147, 2014.
4. О. И. Ларичев. Теория и методы принятия решений. М.: Логос, 2000. 296 с.
5. Ломов Б. Ф. Человек и техника: очерки инженерной психологии. 2-е изд., М.: Сов. радио, 1966.
6. J. Rasmussen. Information processing and human-machine interaction: an approach to cognitive engineering. Elsevier. 1986. 230 p.
7. Дж. А. Миллер. Магическое число семь плюс или минус два. О некоторых пределах нашей способности перерабатывать информацию. М., 1964.
8. Клини С. К. Введение в метаматематику. М.: изд-во ИЛ, 1957.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ
(грант 15-29-01115 офи-м).

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕСТОВОЙ СТРУКТУРЫ КОНТРОЛЯ ПРОФИЛЯ ЛЕГИРОВАНИЯ LDD-ОБЛАСТИ ПО ТЕХНОЛОГИИ КНИ С МИНИМАЛЬНОЙ ПРОЕКТНОЙ НОРМОЙ 0,25 МКМ

Яшин Г.А.
Научные руководители: доцент, к.т.н. Макарчук В.В.
Российская федерация, Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4
к.т.н. Глушко А.А
Российская федерация, Москва, ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН

TEST STRUCTURE DESIGN TO CONTROL DOPING PROFILE OF LDD IN SILICON ON INSULATOR TECHNOLOGY WITH MINIMAL TECHNOLOGICAL RATE OF 0.25 MICRONS

Yashin G.A.
The supervisors of studies: the senior lecturer, Ph.D. Makarchuk V.V.
Moscow, Russia, Bauman MSTU
Ph.D. Glushko A.A.
Russia, Moscow, SRISA RAS

Аннотация
Работа посвящена разработке и исследованию тестовой структуры, с помощью которой предлагается осуществлять контроль суммарной дозы легирования LDD-области *n*-канального МОП-транзистора, формируемого по технологии кремний на изоляторе с минимальной проектной нормой 0,25 мкм. Приведена теоретическая информация о LDD-области, технологическом маршруте ее формирования и методике контроля суммарной дозы легирования. Разработана топология тестовой структуры и получена ее трехмерная модель. Проведено моделирование функциональных параметров разработанной структуры с учетом отклонений в технологическом процессе ее формирования, по результатам которого сделан вывод о возможности контроля с ее помощью суммарной дозы легирования LDD-области.

Annotation
This work is devoted to research and design of test structure by which it is proposed to monitor the total doping dose LDD of n-channel MOS transistor formed on the silicon on insulator technology with a minimum design rule of 0.25 microns.There are theoretical information about LDD, process flow formation technology, method to total doping dose control. Structure topology was designed and its 3D model was obtained. Simulation of the structure was carried out taking into account variations in the process of structure formation. Conclusions, based on computer simulation, about the ability to control dose with help of this structure was made.

Введение

В современной микроэлектронике при проектировании СБИС особое внимание уделяется физическим процессам, протекающим в базовых структурных элементах микросхемы при переходе к субмикронным размерам. К таким эффектам относятся зависимость порогового напряжения от длины и ширины канала, явление индуцирования тока утечки стока напряжением на затворе, а также эффект горячих носителей [1]. Введение дополнительной слаболегированной области LDD (*lightly doped drain*) примыкающей к областям стока и истока позволяет частично устранить проблемы, возникающие вследствие вышеперечисленных эффектов. На рисунке 1 изображена структура современного n-канального МОП-транзистора с субмикронным размером затвора, выполненного на подложке структуры кремний на изоляторе (КНИ) на которой выделены LDD-области с максимальным уровнем легирования $10^{18} - 10^{19}$ см$^{-3}$, частично перекрывающие затвор,.

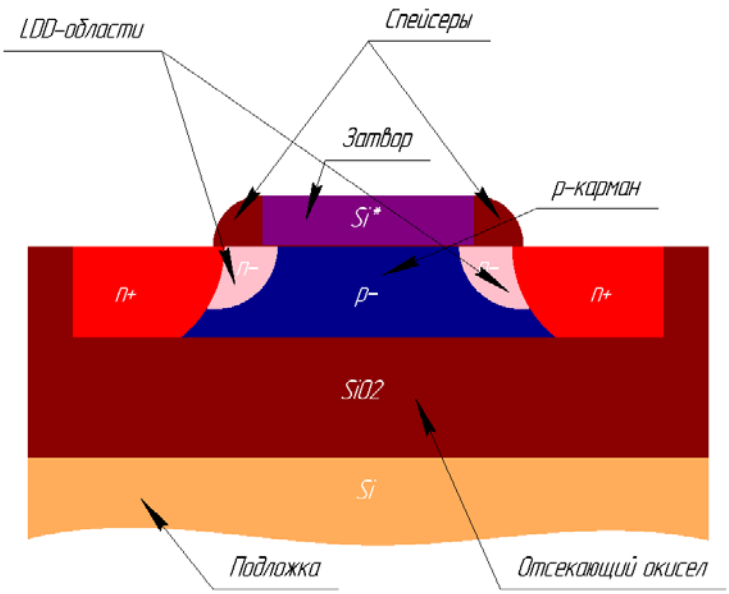


Рис. 1. Вертикальная структура n-канального транзистора

LDD-области в МОП-транзисторах выполняют ряд важнейших функций. Во-первых, они снижают градиент концентрации легирующей примеси и, следовательно, уменьшают интенсивность нежелательной диффузии примеси в подзатворную область. А во-вторых, уменьшение градиента концентрации примеси приводит, в свою очередь, к снижению градиента потенциала электрического поля в теле транзистора [2, 3].

Изменение дозы легирования в LDD-областях эквивалентно изменению профиля легирования, что влияет на такие параметры МОП-транзистора, как его пробивное напряжение транзистора, ток утечки через подложку и его выходные вольтамперные характеристики. Например, уменьшение дозы легирования LDD-областей с 5×10^{-13} см$^{-2}$ до 1×10^{-13} см$^{-2}$ увеличивает пробивное напряжение на 23 % [4]. Поэтому контроль суммарной дозы легирования LDD-областей при производстве субмикронных СБИС является одной из важнейших задач, актуальность которой подтверждается необходимостью получения электрофизических параметров МОП-транзистора с заданной точностью.

В настоящее время контроль стабильности и повторяемости профиля LDD-области осуществляется косвенными, методами которые заключаются в измерении параметров, на которые влияет суммарная доза легирования. Примером такого контроля может служить измерение последовательного сопротивления сток-канал-исток МОП-транзистора, его порогового и пробивного напряжений, а также токов утечки. Основным недостатком косвенных методов измерений является влияние на вышеперечисленные параметры не только дозы легирования LDD-области, но и параметров других областей МОП-транзистора, а также общей его конструкции. Для того непосредственно оценить вклад суммарной дозы легирования LDD-области в контролируемый параметр необходимо параллельно проводить контроль всех возможных факторов влияния, что увеличивает сложность и снижает точность метода контроля. Отсюда следует, что при разработке структуры для косвенного метода контроля основной задачей является уменьшение влияния прочих факторов на измеряемый параметр.

Целью данной работы является создание структуры контроля суммарной дозы легирования LDD-областей для обеспечения постоянства параметров интегральных структур микросхемы.

Технологический маршрут

Перед тем как приступать к описанию процесса разработки и исследования структуры контроля, необходимо рассмотреть технологический маршрут, для которого она будет

разрабатываться. Наименование технологии изготовления – КНИ-0.25 мкм (SOI-0.25) – технология «кремний на изоляторе» с минимальной проектной нормой 0.25 мкм. На рисунке 2 изображена упрощенная последовательность технологических операций формирования МОП-транзистора до формирования контактов к его областям.

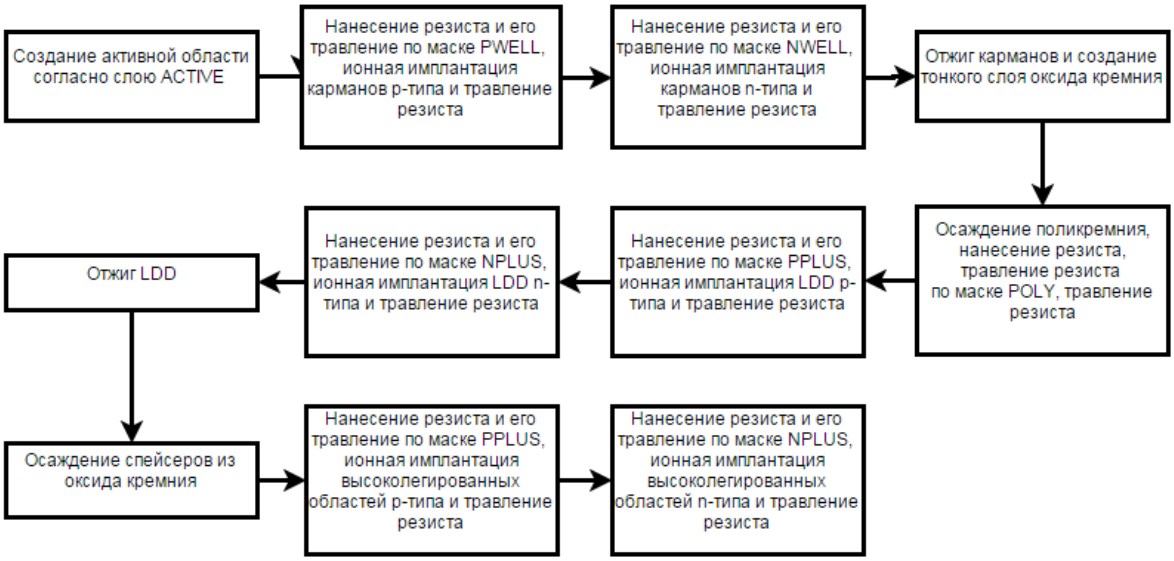


Рис. 2. Последовательность операций технологического маршрута КНИ-0.25

В соответствии с приведенным маршрутом и был разработан *n*-канальный МОП-транзистор, вертикальный профиль которого изображен на рисунке 1.

Параметры контроля

Основным параметром, которым можно охарактеризовать легированную область является сопротивление. Для легированной области монокристаллического кремния, в которой значения всех параметров можно считать постоянными, сопротивление определяется по формуле (1):

$$\rho(x,y,z) = \frac{1}{q\left(\mu_n(x,y,z)n(x,y,z) + \mu_p(x,y,z)p(x,y,z)\right)} \quad (1)$$

где q – элементарный электрический заряд, μ_n и μ_p – подвижности электронов и дырок, n и p – концентрации электронов и дырок [3]. В случае области с преобладанием определенного типа носителей подавляющий вклад в значение сопротивления вносит только одно из слагаемых. Однако сопротивление характеризует лишь элементарную область однородно легированного кремния, легирование же LDD-области является неоднородным. Для характеристики неравномерно легированной области надо использовать суммарное сопротивление легированной области. Для того чтобы определить суммарное сопротивление области при заданном внешнем напряжении необходимо найти суммарный ток, проходящий через область, и продифференцировать напряжение по току (2):

$$R = \frac{dU}{dI} = \frac{dU}{d\left|\iint_S (\vec{j}, d\vec{S})\right|}$$
$$= \frac{dU}{d\left|\iint_S \left(-q\left(\mu_n(x,y,z)n(x,y,z)\nabla\varphi_{fn}(x,y,z) + \mu_p(x,y,z)p(x,y,z)\nabla\varphi_{fp}(x,y,z)\right), d\vec{S}\right)\right|} \quad (2)$$

Где S – площадь контакта к области, через которую протекает суммарный ток, $\nabla\varphi_{fn}(x,y,z)$ и $\nabla\varphi_{fp}(x,y,z)$ – квазиуровни Ферми при заданном внешнем напряжении U [3].

Как видно из выражения (2), значение суммарного тока учитывает распределение концентрации примесей в объеме, подвижность и приложенное внешнее электрическое поле. Значит, изменение суммарной дозы легирования примесного профиля повлияет на изменение суммарного сопротивления области, что позволит косвенно контролировать суммарную дозу легирования LDD – области.

Для обеспечения высокой точности контроля дозы легирования LDD-области необходимо обеспечить минимальное влияние иных областей и факторов на суммарное сопротивление LDD-области. Необходимо отметить, что исходная структура транзистора для таких измерений непригодна, поскольку сопротивление такой структуры будет определяться не только сопротивлением LDD-областей, но и существенно большим по величине сопротивления последовательно включенным сопротивлением канала.

Тестовая структура

Для того чтобы избежать влияния иных областей и факторов на суммарное сопротивление LDD-области при измерении тока непосредственно на структуре транзистора, рассмотрим структуру, профиль которой изображен на рисунке 3, а геометрические размеры получены в результате приборно-технологического моделирования в программной среде *TCAD Sentaurus*.

В данной структуре используется особенность технологического процесса, при которой на расстоянии между прямоугольными областями поликремния, не превышающем 0,25 – 0,3 мкм, формируемые следующей технологической операцией спейсеры из оксида кремния полностью заполняют зазор между поликремниевыми областями так, как изображено на рисунке 3. В результате формируется маска из оксида кремния, которая не пропускает ионы на следующих технологических этапах легирования. В результате оказывается сформирована область, которая имеет уровень легирования, соответствующий уровню легирования LDD-области в n-канальном МОП-транзисторе. В структуре на основе n-кармана формируется аналогичная область, отличающаяся типом проводимости LDD-области.

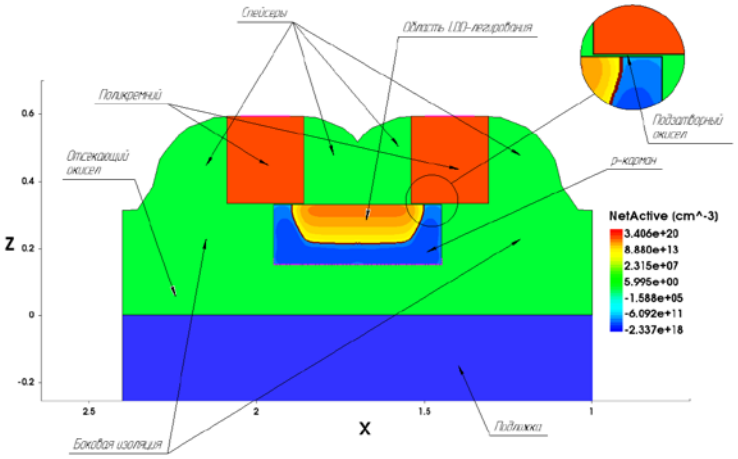


Рис. 3. Вертикальный профиль тестовой структуры в поперечном разрезе (интенсивность оттенков серого соответствует степени легирования в области p-кармана, в остальных областях - материалу)

Топология проектных слоев, на основе которой формировалась исследуемая структура, изображена на рисунке 4. Изображенные слои соответствуют использующимся в технологических операциях маршрута КНИ-0.25 (рисунок 2).

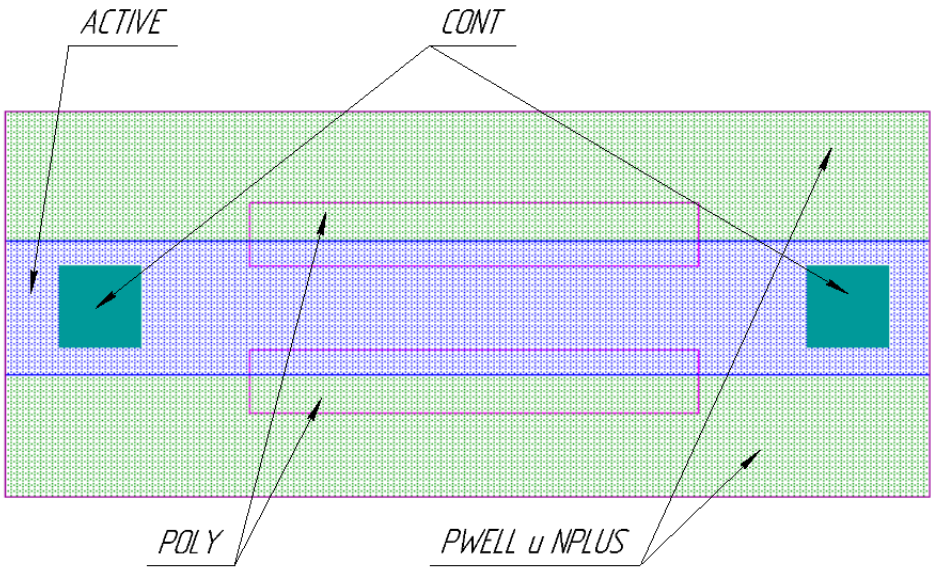


Рис. 4. Топология резистивного элемента тестовой структуры

На Рисунке 5 изображена трехмерная модель фрагмента тестовой структуры в программной среде *TCAD Sentaurus*.

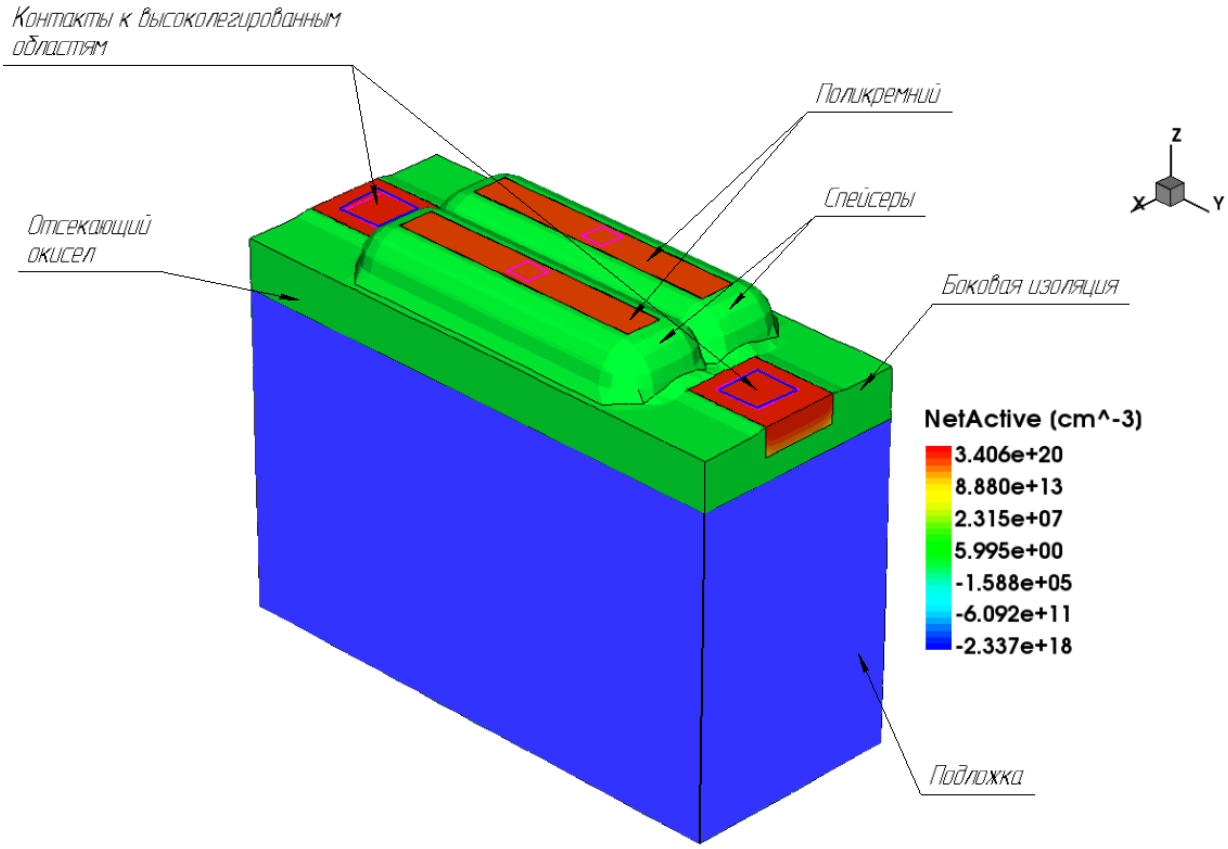


Рис. 5. Фрагмент тестовой структуры в трех измерениях

Для дальнейшего исследования структуры в ходе приборно-технологического моделирования были подключены контакты к высоколегированным областям, которые вплотную примыкают к областям LDD-легирования, а также контакты к поликремнию и карману *p*-типа (на рисунке 5 контакты к карману и поликремнию не указаны).

Моделирование структуры при возможных отклонениях технологических режимов ее формирования

Для оценки чувствительности параметров разработанной тестовой структуры к вариациям технологических режимов формирования LDD-областей следует проанализировать возможные причины изменения профиля, а значит и суммарной дозы легирования этих областей. В маршруте КНИ-0.25 к изменению профиля легирования могут привести недотравленные остатки фоторезиста, оставшиеся после формирования слоя поликремния. Толщина этого слоя может составлять 10 – 20 нм, а это значит, что в процессе формирования LDD-областей с помощью операции ионной имплантации при пролете ионов через этот слой часть из них остаются в нем, а оставшиеся ионы при этом теряют значительную часть своей энергии, что существенно искажает итоговый концентрационный профиль легирования. В ходе исследований были промоделированы тестовые структуры с остаточными слоями резиста толщиной 10, 15 и 20 нм. Полученные в результате моделирования результирующие концентрационные профили легирующих примесей представлены на рисунках 6-9. Также обозначена активная доза фосфора, контроль которой мы производим. Срез одномерного профиля осуществлялся в середине структуры перпендикулярно к плоскости XOY.

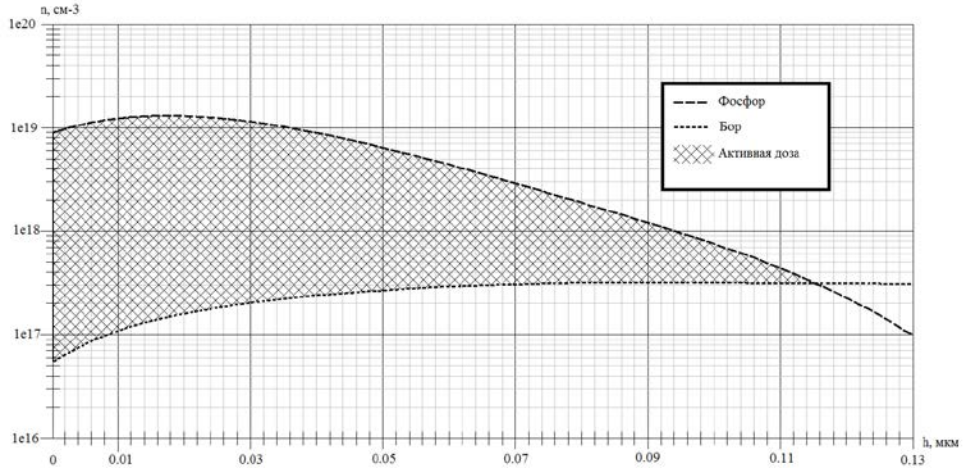


Рис. 6. Графики распределения примесей бора и фосфора в активной области структур при отсутствии остаточного резиста

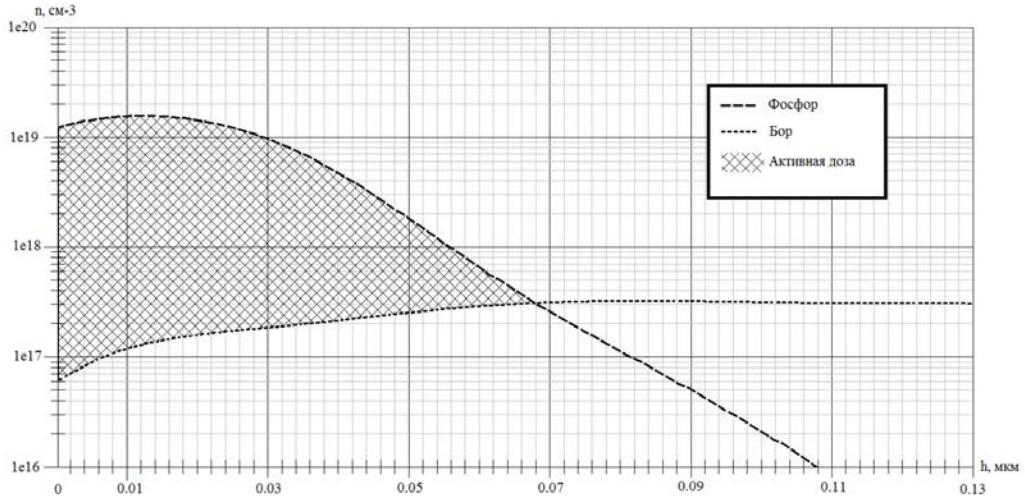


Рис. 7. Графики распределения примесей бора и фосфора в активной области структур при толщине остаточного резиста 10 нм

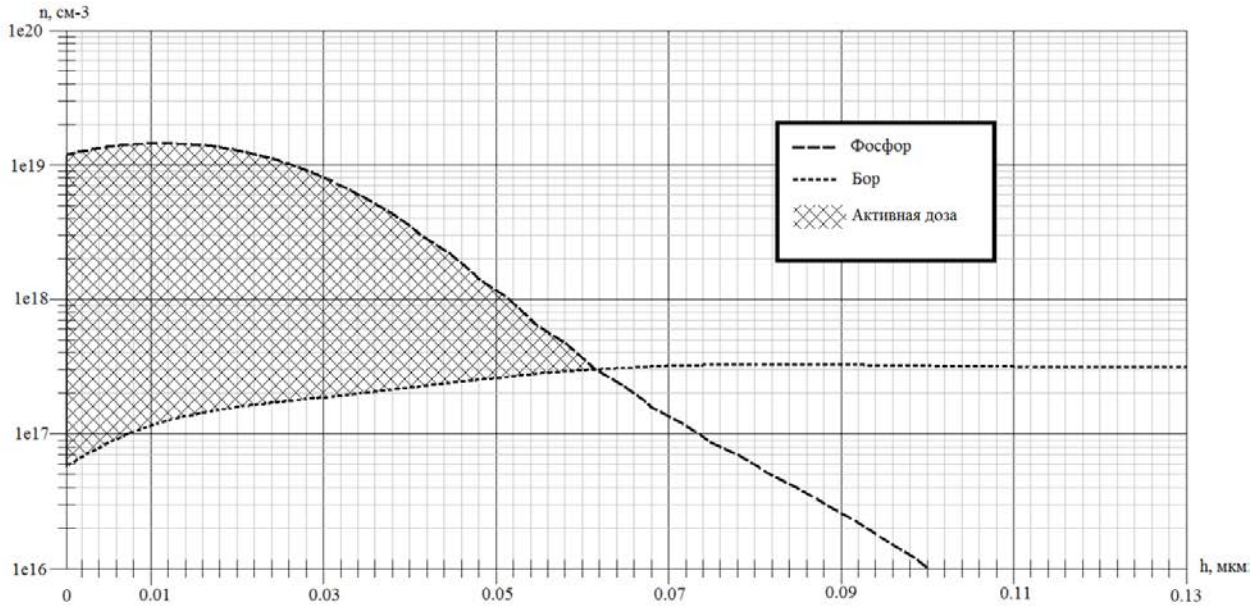


Рис. 8. Графики распределения примесей бора и фосфора в активной области структур при толщине остаточного резиста 15 нм

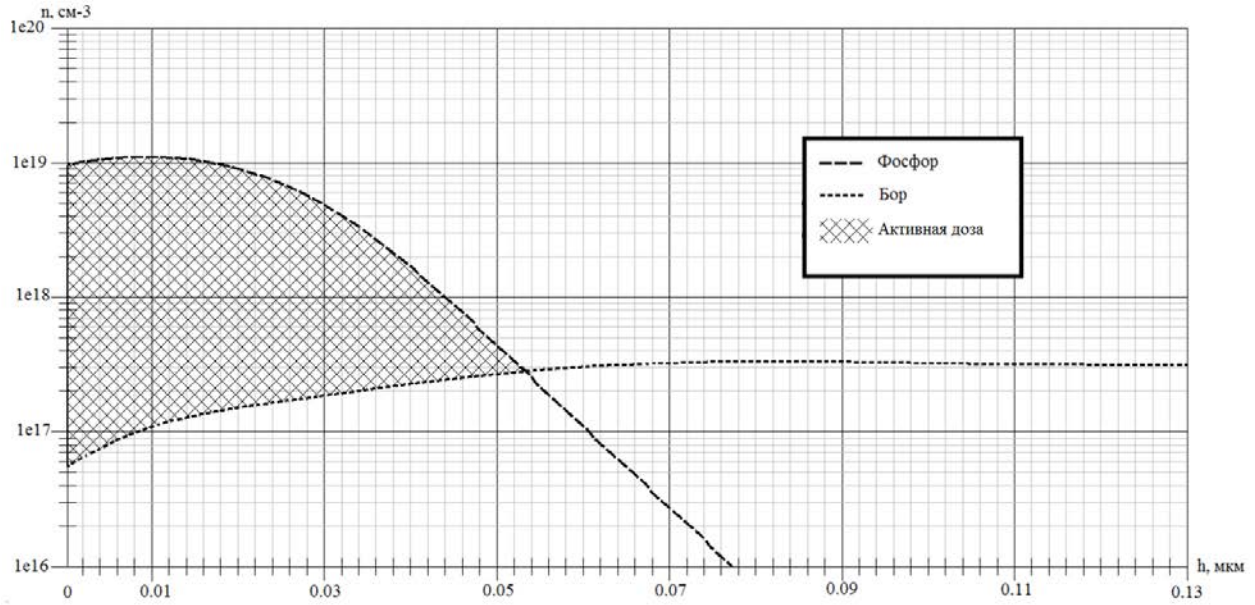


Рис. 9. Графики распределения примесей бора и фосфора в активной области структур при толщине остаточного резиста 20 нм

Можно заметить, что с увеличением толщины остаточного слоя резиста максимальный уровень концентрации смещается к поверхности кремния, что говорит об уменьшении энергии проходящих ионов, а также уменьшается суммарная доза активной примеси фосфора, поскольку все большая часть внедряемых ионов остается в слое резиста.

Расчеты показали, что активные суммарные результирующие дозы легирующей примеси для представленных профилей легирования при толщине остаточного слоя резиста 0, 10, 15 и 20 нм составляют соответственно $6.69 \cdot 10^{13}$ см$^{-2}$, $5.7 \cdot 10^{13}$ см$^{-2}$, $4.63 \cdot 10^{13}$ см$^{-2}$ и $3.15 \cdot 10^{13}$ см$^{-2}$.

Следует отметить, что суммарная активная доза легирования LDD-областей может измениться и по другим причинам. Например, вследствие отклонения от номинала параметров самой операции ионного легирования.

Моделирование вольтамперных характеристик тестовой структуры

Перед началом моделирования необходимо было задать граничные условия на всех созданных контактах к предполагаемой тестовой структуре (рисунок 5) и временные диаграммы напряжений на них. На контакты к поликремнию и к карману было подано нулевое напряжение, что позволяет зафиксировать потенциал поликремния и предотвратить открытие *p-n*-перехода в активной области структуры. Один из контактов к высоколегированной области также был заземлен, а на другой контакт – было подано напряжение, линейно изменяющееся во времени. После окончания процесса моделирования было получено семейство вольтамперных характеристик тестовой структуры при вариациях технологического режима их формирования (рисунок 10).

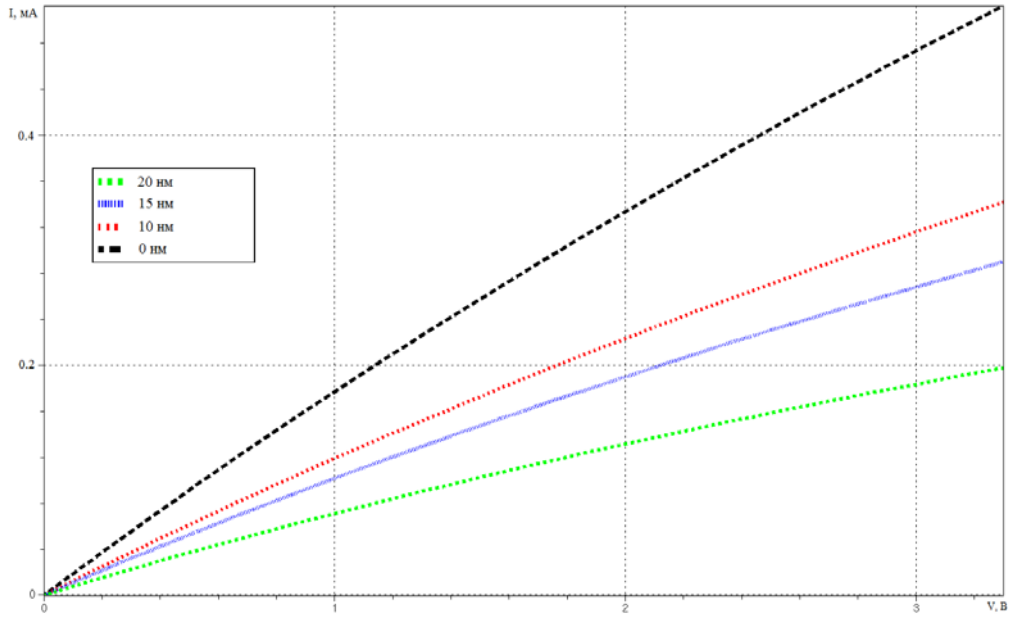


Рис. 10. Вольтамперные характеристики тестовой структуры с различной толщиной остаточного резиста

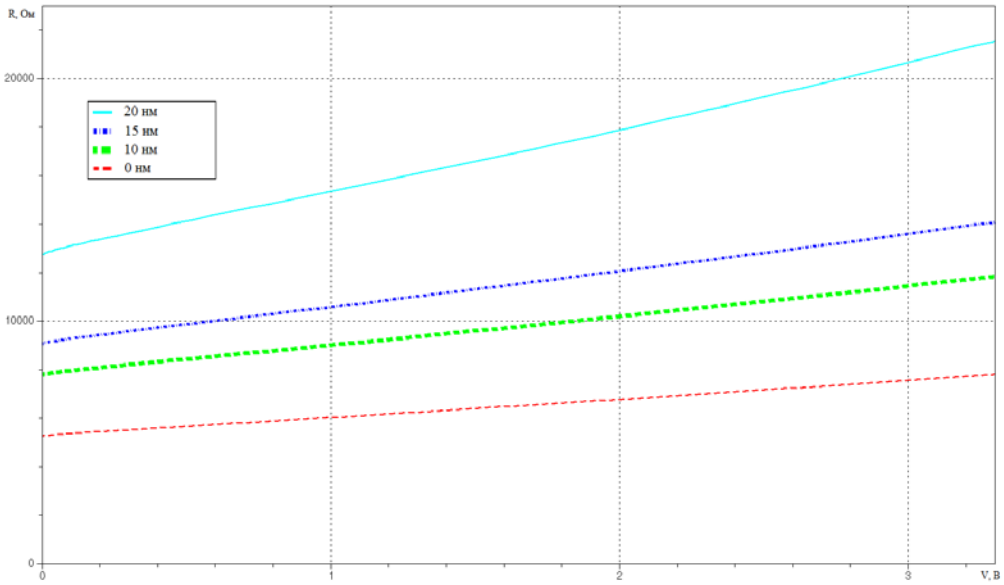


Рис. 11. Суммарное сопротивление тестовой структуры с различной толщиной остаточного резиста

На результирующих графиках видно, что чем больше толщина остаточного слоя резиста, тем выше расположена кривая суммарного сопротивления. Некоторая нелинейность полученных кривых является следствием насыщения скорости носителей в сильном электрическом поле, что приводит к уменьшению подвижности носителей при увеличении напряжения между контактами, а также вследствие расширения области объемного заряда в *p-n*-переходе между карманом и LDD-областью при увеличении напряжения. Результаты моделирования отчетливо демонстрируют различия между сопротивлением исходного профиля легирования LDD-области и профилей, которые получились в результате отклонения в технологии. Это позволяет с уверенностью утверждать, что спроектированная и исследованная тестовая структура позволяет обнаруживать отклонение дозы легирования по сравнению с эталонной дозой.

Заключение

Спроектирована тестовая структура, с помощью которой предлагается осуществлять контроль профиля легирования LDD-области путем измерения ее вольтамперной характеристики. Разработана топология этой структуры, проведено моделирование электрических процессов в ней, в результате чего были получены вольтамперные характеристики резистора на основе LDD-области. Кроме того было проведено моделирование технологических отклонений, в результате которых возможно изменение суммарной дозы легирования контролируемой области, и показано, как эти отклонения влияют на сопротивление LDD-области.

Таким образом, с помощью системы приборно-технологического моделирования *TCAD Sentaurus* была решена важная задача создания тестовой структуры контроля сопротивления LDD-области, что позволит более точно контролировать технологический процесс производства КНИ КМОП СБИС.

Литература

1. Красников Г. Я.: Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов – Издание 2-е, исправленное – М.: Техносфера, 2011. – 800 с.
2. Королев М. А., Крупкина Т. Ю., Ревелева М. А., - Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем – Часть 1 – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2007. – 397 с.:ил.
3. Маллер Р., Кейминс Т. Элементы интегральных схем– М.:Мир, 1989 – 630с.
4. Зайцев Н.А., Красников Г.Я., Романов И.М., - Исследование влияния дозы легирования LDDN МОП транзистора с длиной затвора 0.5 мкм на ток подложки, АООТ «НИИМЭ и МИКРОН».
5. http://fep.tti.sfedu.ru/books/conferenc/pem2000/pape1/ai18.pdf

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ
(грант 15-07-03116).

СИСТЕМА ПО ОТСЛЕЖИВАНИЮ НАПОЛНЕННОСТИ МУСОРНЫХ БАКОВ И АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРА МУСОРА

Колесников М. А., Вождаев А., Феофантов К.В., Юдин А.В.
Научный руководитель: Юдин А.В.
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия.

FILL LEVEL TRAKING SYSTEM FOR THE DUMPSTERS AND AUTOMATION OF GARBAGE COLLECTION

Kolesnikov M. A., Vozhdaev A., Feofantov K.V., Yudin A.V.
Supervisor: Yudin A.V.
National University of Science and Technology MISiS, Moscow, Russia.

Аннотация
EXON BIN – это система автономных датчиков, позволяющая отслеживать уровень наполненности мусорных контейнеров в режиме реального времени. А так же механизм для автоматизации сбора мусора, такой как автоматическое построение маршрута для водителя в зависимости от прогнозирования заполняемости мусорных баков. Все данные с датчиков поступают на платформу, где вся информация сохраняется и затем анализируется. Это позволяет получать историю состояний датчиков за любой определенный период.

Abstract
EXON BIN – is a system of autonomous sensors, allowing to monitor the level of fullness of dumpsters in real time. And also a method of automation of garbage collection, such as automatic route formation for driver, depending on the prediction of dumpsters occupancy. All data received from the sensors is transmitted to the platform, where all information is stored and analyzed then. That allows to get the sensor state history for any certain period of time.

Введение

Главной целью системы EXON BIN является автоматизация управления сбором мусора, а именно предоставления интерфейса для более детального отслеживания и выполнения только тех задач, которые необходимы. Для примера, можно ехать на другой конец города за мусорным контейнером только в том случае, если он заполнен, а не по расписанию. Так же система позволяет более точно спрогнозировать заполняемость всех баков или конкретного бака, что позволит менеджеру выводить только то количество водителей, которое необходимо для сбора баков.

1 Аппаратная часть системы и ее особенности

Аппаратная составляющая системы представляет собой датчик (Рис.1), который состоит из двух частей: корпуса, содержащего всю управляющую электронику, батарейный блок, и основания, служащего для крепления датчика к мусорному баку.

Параметры корпуса определены размерами внутренних компонентов - габаритами платы с управляющей электроникой и высотой антенны связи. Посадка ультразвукового дальномера в корпусе осуществлена с углублением относительно верхней плоскости датчика, что обусловлено зоной нечувствительности дальномера из-за переходного процесса на пьезоэлементе. Так как и отправка, и прием сигнала осуществляются одним и тем же элементом, между генерацией и получением ультразвуковой волны должен иметься промежуток времени, достаточный для затухания колебаний, вызывающих данную волну. Выполнено данное углубление в форме конуса для обеспечения необходимого направления посылаемого сигнала. Корпус датчика не имеет углов и выступающих частей, что необходимо для избежания засорения и большей устойчивости к периодическим нагрузкам, вызываемым оборотом отходов в баке: датчик не должен быть поврежден либо сбит, а также

не должен препятствовать движению мусора при заполнении/опустошении бака. В нижней части корпуса имеется круглое отверстие, через которое в него помещается вся электроника и модуль с батареями. Для закрепления платы в корпусе имеются крепежные отверстия под винты. После закрепления платы доступным остается только батарейный блок и модуль с SIM-картой для осуществления их легкой замены.

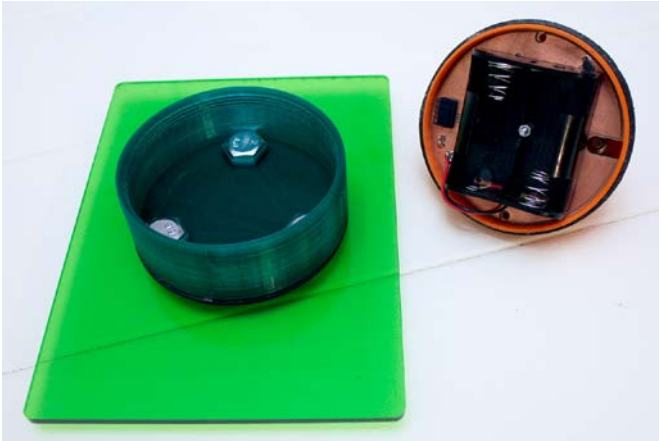


Рис. 1. Датчик уровня мусора с демонстрацией крепления основания к баку

Основание позволяет закрепить датчик в баке и в то же время служит крышкой, закрывающей отверстие в корпусе и герметизирующей его. Имеется два вида оснований: для крепления датчика на крышке бака и на его стенке. Крепление корпуса датчика к его основанию происходит посредством резьбового соединения, диаметр которого определяется диаметром отверстия в корпусе. Во избежание нежелательного раскручивания датчика (случайного или преднамеренного), в нижней части корпуса предусмотрено вертикальное отверстие для стопорного винта. В основании имеются отверстия для болтового крепления датчика к баку. Для лучшей герметизации между корпусом и основанием помещается резиновая прокладка.

Прототип корпуса датчика был изготовлен на 3D принтере (Рис.2). В связи со сложной формой корпуса при его печати необходимо учитывать особенности позиционирование модели: необходимо, чтобы отверстия при печати располагались вертикально, во избежание сплющивания и деформаций. Также важно обеспечить равномерное охлаждение модели, иначе будут возникать напряжения, искривляющие грани.

Рис. 2. Эволюция внешнего вида корпуса датчика

Управляющая электроника и структура ее взаимодействия между собой, а также с внешней средой и сервером представлена на рис. 2.

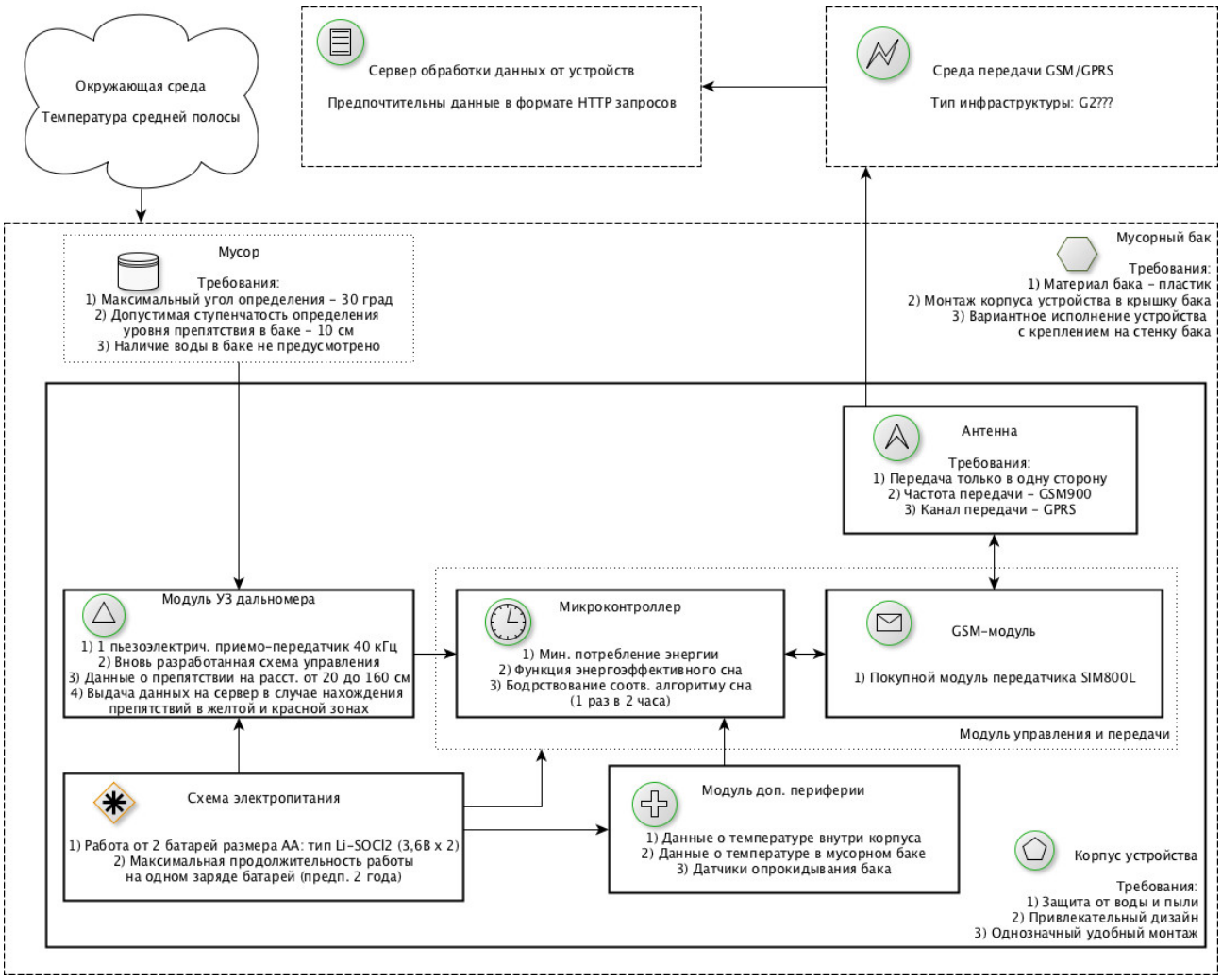


Рис. 3. Структурно-функциональная схема модуля датчика мусора

2 Программная часть системы

В процессе проектирования решения поставленной задачи была построена диаграмма состояний (рис.3), отображающая состояния устройства с программной точки зрения.

Исходя из этой схемы видно, что все состояния и действия разбиваются на несколько групп: передача данных, работа с датчиками, сон.

Передача данных. Так как каналом связи были выбраны сети GSM\GPRS, то все сложности по организации физического уровня в соединении легли на модуль SIM800, управлять которым можно при помощи специальных AT-команд, пересылаемых нами в последовательном режиме с контроллера на модуль.

Из-за того, что предполагается массовое использование данных устройств - был выбран протокол MQTT – специальный протокол M2M(machine-to-machine) коммуникаций, отличающийся своей легковесностью. По сути в этом протоколе различают 2 сущности: брокеры-серверы, которые обрабатывают поток входящих данных, и клиенты, которые могут либо публиковать сообщения на брокер, либо подписываться для дальнейшего их получения. В данном устройстве необходимо реализовать только клиентскую сущность, которая будет отправлять сообщения установленного формата брокеру. Исходя из этого, а так же из-за ограничения по памяти в микроконтроллере (8кБ), из всего множества функций, предоставляемых протоколом и стандартными библиотеками, были выбраны 2: отправка т.н. connect-message (сообщение, указывающее брокеру на сам факт последующего сообщения, а так же его формате) и непосредственно функция публикации сообщения.

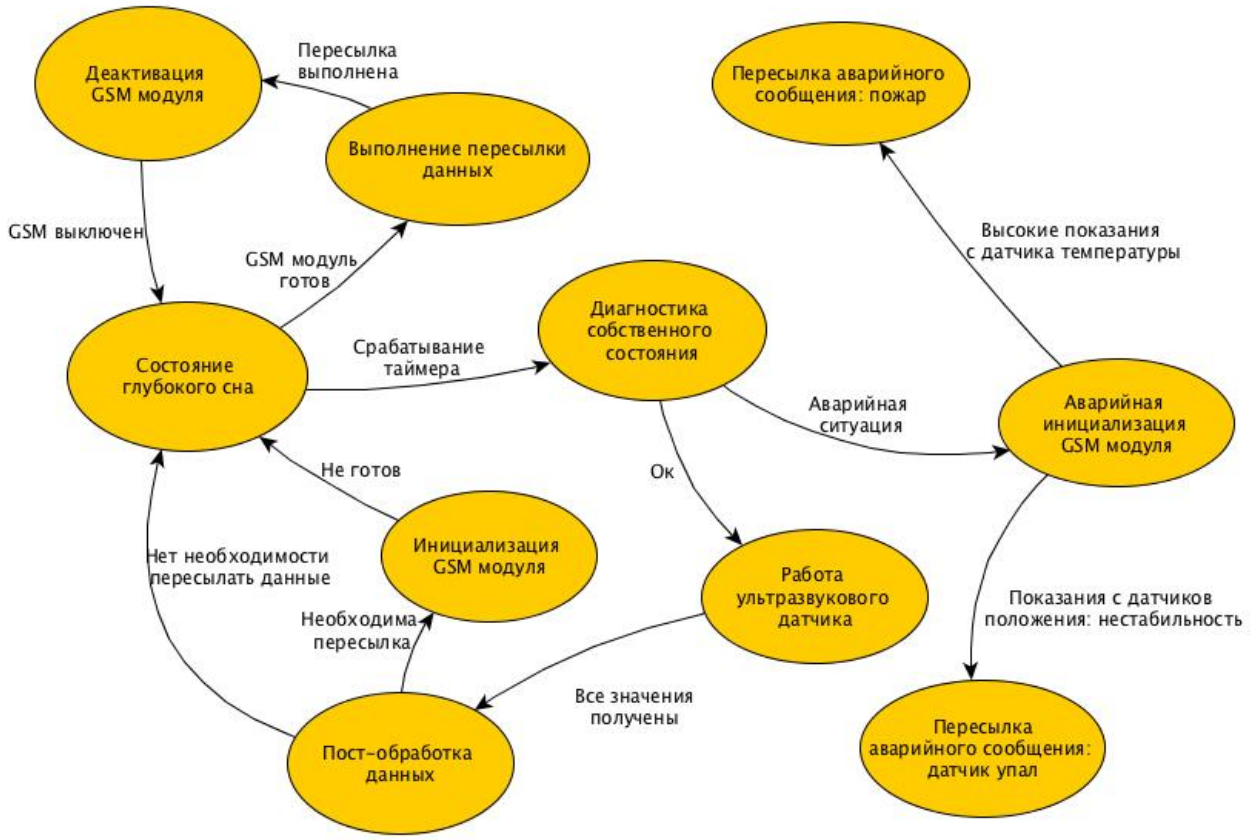


Рис. 4. Диаграмма состояний системы

а) Connect-message

Длина сообщения для установки соединения - 16 обязательных байт, включающих в себя всевозможные настройки, и client_id, который имеет ограничение по длине в 255 символов.

В этом сообщении:

1 байт: Байт типа сообщения (16 - CONNECT)

2 байт: Оставшаяся длина сообщения

3-10 байты: информация об имени протокола (в данном случае "MQIdsp")

11 байт: версия протокола

12 байт: флаги соединения

13-16 байты: служебные байты, хранящие информацию о последущей пересылке client_id

17+байты: строка client_id

б) Publish-message

После пересылки по TCP данного сообщения при помощи AT команд, необходимо отправить само сообщение, которое имеет чуть более простой формат:

1, 3 байты: Байты, устанавливающие тип сообщения

2 байт: общая длина сообщения

4 байт: длина темы сообщения (topic)

И далее последовательно записаны: тема (topic) и само сообщение.

Стоит заметить, что к длине сообщения особых требований не предъявлялось, поэтому передается json-строка, однако, объем передаваемых данных можно было сократить с десятков байт до единиц. Возможный вид сообщения выглядит как:

```
"garbage_sensor":
        {"IMEI" : "1234567897654",
        "distance": <byte>
        "sensor1": <byte>
        "sensor2": <byte>
        }
```

Работа с датчиками. В данной схеме, все датчики подключены напрямую к ножкам МК, поэтому снятие показаний сводится к работе АЦП преобразователя (в случае с датчиком температуры) и цифровым пинам (датчики положения). Особую сложность представляет работа с датчиком ультразвука. Для его реализации требуется использовать фильтр совмещенный с усилителем, работающие на частоте близкой к 40 кГц, на которой работает ультразвуковой приемопередатчик. Для определения уровня мусора в баке используется измерение времени, требующегося ультразвуковой волне дойти до препятствия и вернуться обратно к источнику.

Стоит отметить пост-обработку сигналов. Предполагается, что в целях экономии энергии, решение о целесообразности передачи данных принимает сам датчик. В процессе работы собирается статистика по полученным значениям и передача выполняется только в том случае, когда новые показания сильно отличаются от предыдущих. Для хранения статистических данных используется EEPROM(энергонезависимая память).

Энегосбережение. Из-за того, что данное устройство должно работать автономно длинный промежуток времени (от полугода), то вопрос об энергосбережении является приоритетным в процессе разработки. Несмотря на то, что в количественных характеристиках энергопотребление самого контроллера в разы меньше потребления GSM-модуля (20mA против 500mA в пике соответственно), при долгой работе необходимо обеспечить самое минимальное потребление. Микроконтроллеры линейки ATtiny имеют возможность т.н. "глубокого сна", при котором отключается большая часть внутренних устройств. Определенной проблемой является то, что для выхода из этого режима необходимо какое-либо прерывание, которое в виду отсутствия внешних таймеров, в данной задаче обеспечить невозможно. Выходом является не совсем стандартное использование сторожевого таймера (watchdog timer, WDT) - устройства, имеющего собственный осциллятор, отличный от МК, и выдающего прерывание по срабатыванию. В классическом его использовании, он предназначен для предотвращения зависания МК, и поэтому, максимальное время, которое он может проработать - это 8 секунд (стоит заметить, что из-за неточной работы осциллятора WDT, установленный промежуток в 8 секунд может пройти ~7.5 секунд реального времени), после которых микроконтроллер в любом случае "проснется" - поэтому для сна, длительностью в несколько часов, необходимо погружать МК в сон каждые ~8 секунд.

В добавление к этому, в следствие того, что процесс передачи данных с GPS модуля может занимать секунды, МК переходит в энергосберегающий режим во время передачи данных на сервер.

3 Принцип взаимодействия с пользователями

Всех пользователей системы EXON BIN можно разделить на 3 группы: менеджер, диспетчер и водитель. У каждой группы свой пользовательский интерфейс и определенный функционал. Такое разделение позволяет уменьшить сложность пользования системой и сократить время обучения.

Для менеджера, самое главное видеть, насколько эффективно работает его система, поэтому менеджеры могут видеть в режиме реального времени общее состояние системы, такое как: количество водителей на линии, количество убранных баков, количество

заполненных баков и т.д. Так же менеджер видит местоположение каждого водителя на карте и может выдать ему конкретную задачу.

Диспетчер это пользователь, который выдает задачи водителям, система EXON BIN позволяет в случае нехватки персонала обойтись без этого пользователя. Тогда система будет сама назначать задачи в соответствии выбранного алгоритма или правил и выдавать их водителям. Данная роль имеет более опциональный характер и не является обязательной.

Водитель, как главный исполнитель задач имеет простой и минимально загруженный пользовательский интерфейс. Главными элементами являются: карта с мусорными баками и с рассчитанным маршрутом, список задач для выполнения и список датчиков с их историей заполняемости.

Заключение

Описанная в данной статье система EXON BIN позволяет значительно упростить и оптимизировать организацию сбора мусора в городах, а также уменьшает затраты на ручное отслеживание наполненности баков. Особенную эффективность эта система проявляет в крупных городах, где все баки имеют собственный режим заполнения, способный существенно варьироваться в зависимости от географического положения контейнера.

В будущем планируется анализ работоспособности системы в реальных городских условиях и, в случае успеха, дальнейшее ее развитие с последующим внедрением во все большее количество городов.

Литература

1. В.Г. Концевич “Современный самоучитель работы в Autodesk Inventor” – М.:ДКМ-Пресс, 2009. – 672 с.: ил.
2. A.Vlasov and A.Yudin “Distributed Control System in Mobile Robot Application: General Approach, Realization and Usage ” in Research and Education in Robotics - EUROBOT 2010, ser. Communications in Computer and Information Science, vol. 156. International Conference, Rapperswil - Jona, Switzerland, May 27 – 30, 2010, Revised Selected Papers: Springer Berlin Heidelberg, 2011. pp. 180-192.
3. A. Yudin, M. Semyonov ”Distributed Control System for a Mobile Robot: Tasks and Software Architecture” in Research and Education in Robotics - EUROBOT 2011, ser. Communications in Computer and Information Science, vol. 161. International Conference, Prague, Czech Republic, June 15-17, 2011, Proceedings: Springer Berlin Heidelberg, 2011. pp. 321-334.
4. Юлдашев М.Н. Ультразвуковые системы для определения пространственного положения подвижного объекта // Сборник научных трудов. 17-ая молодежная научно-техническая конференция "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2015". – М.: изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 22-23 апреля 2015 г. – стр. 465-472.
5. Арабов Д. И., Власов А. И., Гриднев В.Н., Григорьев П. В. КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВОГО ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА (FAB LAB) ДЛЯ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. №5.
6. Арабов Д.И., Вирясова А.Ю. , Гриднев В.Н. КОМПЛЕКСНОЕ МАКЕТИРОВАНИЕ УЗЛОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА (FAB-LAB) В УСЛОВИЯХ СКВОЗНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2016. Т. 1.

РАЗВИТИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

Юлдашев М.Н.
Научный руководитель: доц., канд. техн. наук Адамова А.А.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

DEVELOPMENT OF WIRELESS SENSOR NETWORKS

Yuldashev M.N.
Supervisor: Ph.D., Doc. Adamova A.A.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье рассматриваются основные аспекты беспроводных сенсорных сетей, такие как режим доступа, топологии сетей и стандарты передачи данных. Рассмотрены топологии беспроводных сенсорных сетей «точка-точка», «звезда», «дерево» и «ячеистая сеть», указаны их преимущества и недостатки использования. Представлены описания популярных и перспективных стандартов передачи данных, таких как ZigBee, Wi-Fi. В заключении указаны результаты исследований, представлены векторы в развитии беспроводных сенсорных сетей, которые имеют потенциал в будущем.

Abstract
The article discusses the main aspects of wireless sensor networks, such as access mode, network topologies and data transmission standards. We consider the topology of wireless sensor networks "peer-to-peer", "star", "tree" and "mesh" network, their advantages and disadvantages of using. The descriptions of popular and emerging data standards, such as ZigBee, Wi-Fi. In conclusion, given the results of studies presented vectors in the development of wireless sensor networks, which have the potential in the future.

Введение

Беспроводные сенсорные сети (БСС) представляют собой распределённые, самоорганизующиеся сети множества датчиков/сенсоров и исполнительных устройств, объединенных между собой посредством радиоканала. Подобные сети способны выполнять широкий спектр задач по контролю и автоматизации процессов, покрывать территорию от нескольких метров до нескольких километров за счёт способности ретрансляции сообщений между элементами сети.

Множество отраслей и сфер деятельности, таких как промышленность, транспорт, коммунальное хозяйство, охрана, заинтересованы во внедрении сенсорных сетей, и число подобных сегментов рынка непрерывно увеличивается [1]. Тенденция обусловлена совершенствованием технологических процессов, развитием производства, расширяющимися потребностями заказчиков. С развитием микроэлектронных технологий появляются новые практические задачи и теоретические проблемы, связанные с применениями сенсорных сетей в промышленности, жилищно-коммунальном комплексе, домашних хозяйствах. При этом рынок БСС сильно сегментирован и для реализации разнообразных задач применяются различные технологические решения.

Использование недорогих беспроводных сенсорных устройств контроля параметров открывает новые области для применения систем контроля[2], такие как:

– своевременное выявление возможных отказов исполнительных механизмов, по контролю таких параметров, как вибрация, температура, давление и т. п.;
– контроль доступа к удалённым системам объекта мониторинга в режиме реального времени через глобальную сеть Интернет;
– автоматизация инспекции и технического обслуживания промышленных активов;
– применение как компоненты в энерго- и ресурсосберегающих технологий;
– контроль экологических параметров окружающей среды.

Далее в статье рассмотрены основные аспекты беспроводных сенсорных сетей, такие как режим доступа, топологии сетей и стандарты передачи данных.

1 Режим доступа в беспроводных сенсорных сетях

В настоящее время существует два типа доступа к сети: синхронный и асинхронный. В рамках сенсорных сетей синхронным называется режим, когда в один момент времени радиоканал предоставляется одному определенному устройству, в асинхронном - канал может занимать любое устройство, которое первым успело получить доступ к каналу.

Большинство БСС построено на асинхронном доступе. Он популярен за счет простоты своей реализации, однако, скорость передачи данных в таких системах ниже за счет возникновения коллизий. Также крайне важным недостатком асинхронных сенсорных сетей является значительная доля затрат энергии в режиме постоянного «прослушивания» сети. В случае использования схемы TDMA (временно́е разделение доступа в радиоканал) появляется существенный выигрыш (до 10 раз) в энергопотреблении, так как устройства имеют информацию о том, в какой момент времени для них будет передаваться данные [5]. Синхронный доступ позволяет добиться большей скорости передачи данных и экономии энергии, однако, приводит к существенным осложнениям программной реализации взаимодействия элементов в сети. Если в асинхронной сети реализация канального и физического уровней является простейшей, то в случае поддержки доступа в канал с разделением времени модель канального уровня становится нетривиальной и значительно повышает сложность уровня программного обеспечения.

2 Топологии сенсорных сетей

В настоящее время известны следующие топологии беспроводных сенсорных сетей: «точка-точка», «звезда», «дерево» и «ячеистая сеть». Схемы указанных топологии представлены на рисунке 1.

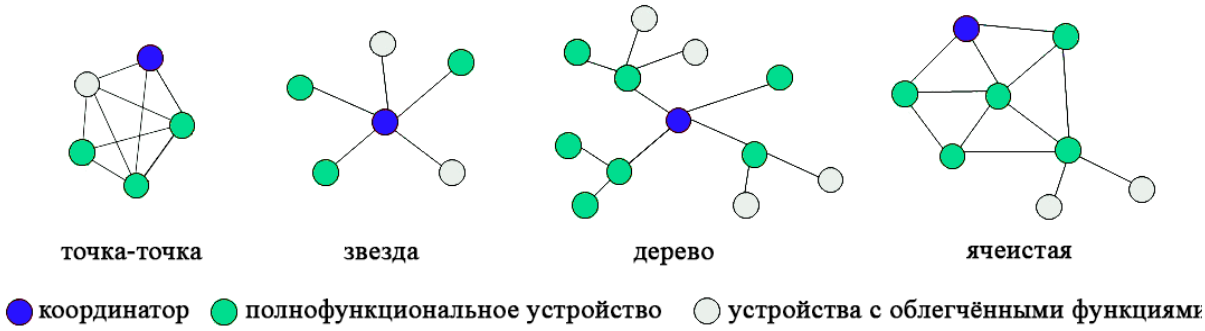


Рис. 1. Схемы топологий беспроводных сенсорных сетей

Топология «точка-точка» (peer-to-peer) предназначена для соединения двух узлов. При наличии множества элементов сети количество связей растет в арифметической прогрессии n(n+1)/2 (полносвязная сеть), что делает данную топологию малопригодной для использования в беспроводных сенсорных сетях с большим набором узлов.

В сетях типа «звезда» (star) все узлы взаимодействуют друг с другом через координатор, в результате чего резко возрастает сетевая нагрузка на центральный модуль. Это служит причиной ненадежности сети и делает координатора «узким» местом системы. Область покрытия сети ограничена радиусом взаимодействия с центральным модулем.

Эволюционным развитием топологии «звезда» является «дерево» (tree) («многоуровневая звезда»). В данной топологии главным связующим элементом остается координатор, а вот его клиенты уже могут выступать в роли координаторов для собственных

подсетей - кластеров. В результате получается сеть, где взаимодействие узлов происходит через координаторы разных уровней, за счет чего увеличивается область покрытия сети и повышается её надежность. Топологии «звезда» и «дерево» являются наиболее распространенными при построении БСС из-за простоты и наглядности их программной реализации.

Ячеистая топология (mesh) представляет собой более сложную организацию, где нет четкой иерархии взаимодействия узлов сети, поэтому существует множество путей прохождения сигнала от одного модуля к другому. Как правило, взаимодействие происходит с ближайшим элементом, поэтому скорость доставки сообщения максимально. В случае удаления промежуточного узла, передатчик начинает искать другой ближайший узел. Надежность данной топологии во много раз превосходит ранее рассмотренные. Недостатком данного типа сети можно считать сложность его программной реализации.

3 Стандарты и протоколы передачи данных в беспроводных сенсорных сетях

Для взаимодействия элементов БСС был специально разработан сетевой протокол верхнего уровня - ZigBee. Данный протокол базируется на стандарте IEEE 802.15.4, который описывает контроль доступа к беспроводному каналу и физический уровень для низкоскоростных беспроводных персональных сетей, то есть два нижних уровня согласно сетевой модели OSI (см. рисунок 2).

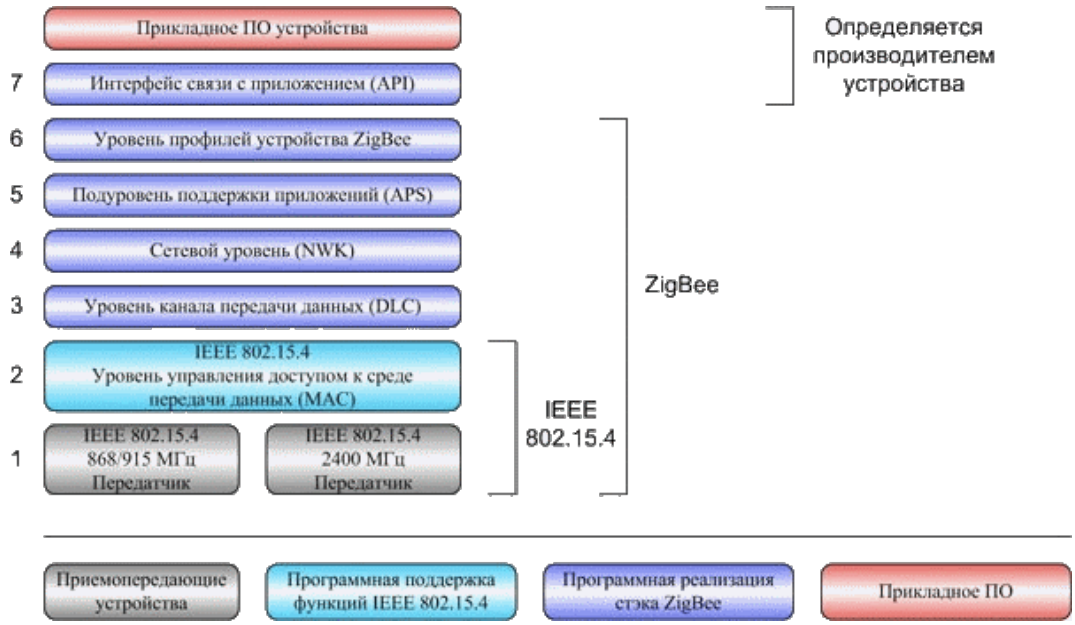


Рис. 2. Многоуровневая модель стандарта связи ZigBee

При проектировании стандарта IEEE 802.15.4 был сделан акцент на снижении стоимости связи с ближайшим элементом сети с целью максимальной экономии потребления энергии. Управлять энергозатратами можно при помощи регулирования скорости передачи данных. Также протокол ZigBee поддерживает симметричное шифрование стандарта AES.

Основными недостатками протокола ZigBee являются: низкая скорость передачи данных (20…250 кбит/с), небольшая элементная база для его реализации. Протокол имеет жесткую привязку к типам устройств сети (координатор, устройства полнофункциональные или с ограниченными функциями) [3]. Это говорит о том, что территориальное размещение узлов необходимо планировать уже на этапе проектирования сети. В результате построенная сеть имеет низкую устойчивость к изменению топологии.

Эти недостатки решает протокол Wi-Fi, построенный на базе стандарта IEEE 802.11. На сегодняшний день этот протокол является самым распространенным из беспроводных сетей. Скорость передачи данных составляет 11Мбит/с, что быстрее протокола ZigBee в 45

раз. Стандартной топологией сети для Wi-Fi является «звезда», но существуют также технологии для построения ячеистой сети (CJDNS).

Заключение

Несмотря на длительную историю сенсорных сетей, концепция их построения окончательно не оформилась и не выразилась в определенные программно-аппаратные (платформенные) решения. Проектирование БСС с «нуля» требует существенных денежных и временных ресурсов. Реализация сенсорных сетей на текущем этапе во многом зависит от конкретных требований индустриальной задачи. Архитектура, программно-аппаратная реализация находится на этапе интенсивного формирования технологии, что обращает внимание разработчиков с целью поиска технологической ниши будущих производителей.

В статье были рассмотрены основные аспекты беспроводных сенсорных сетей, такие как режим доступа, топологии сетей и стандарты передачи данных. Относительно топологии БСС можно сделать вывод, что наиболее перспективной является ячеистая сеть, которая отличается повышенной надежностью и скоростью передачи данных.

Были рассмотрены основные стандарты передачи данных в БСС: ZigBee и Wi-Fi. ZigBee является наиболее распространенным протоколом для сенсорных сетей, но имеет ряд своих недостатков, которые способен решить протокол Wi-Fi. С другой стороны, Wi-Fi не имеет аппаратного решения для построения БСС. Это связано с тем, что протокол ZigBee разрабатывался специально для сенсорных сетей и с момента его огласки (2003 год) большинство компаний использовали именно его. В то же время Wi-Fi позиционировался как протокол для локальный сетей, однако, сейчас является самым популярным.

Дальнейшее развитие беспроводных сенсорных сетей имеет потенциал в использовании стандарта «ячеистой» сети (mesh) Wi-Fi для передачи данных и интеграцией с глобальной сетью Интернет.

Литература

6. Рагозин Д. В. Моделирование синхронизированных сенсорных сетей. 2008. № 2-3. Специальный выпуск — 721—729 с.
7. A survey on real-world implementations of mobile ad-hoc networks. Kiess W., Mauve M. J. of Ad Hoc Networks. – April 2007. – Vol. 5, Issue 3, P. 324–329.
8. Киреев А.О., Светлов А.В. Беспроводные сенсорные сети в сфере технологий охраны объектов. Ж-л: Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», том 2/2008 г.
9. Беспроводная сенсорная сеть. – Электронный ресурс. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Беспроводная_сенсорная_сеть - Проверено 09.02.2016г.
10. Rajendran V., Obraczka K., Garcia-Luna-Aceves J.J. Energy-Efficient, Collision-Free Medium Access Control for Wireless Sensor Networks // In Proc. Of 1st Int. Conf. on Embedded Networked Sensor Systems, Los Angeles, CA, USA, 2003. P. 181–192.

ОСОБЕННОСТИ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕКА ПРОТОКОЛОВ ZIGBEE

Зимин Д.В.
Научный руководитель: асс. Муравьёв К.А.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

FEATURES OF WIRELESS DATA TRANSMISSION USING ZIGBEE PROTOCOL STACK

Zimin D.V.
Supervisor: ass. prof. Muraviev K.A.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация
В статье рассматривается состав и особенности работы беспроводной сети ZigBee. Подробно исследована структура и организация топологии сети. Кратко представлены примеры использования в жизни, рассмотрены возможные перспективы и сферы развития данной технологии.

Abstract
The article discusses the structure and features of the ZigBee wireless network. Detailed study of the structure and organization of the network topology. Briefly presented examples of the use in life, consider the prospects and scope of the development of this technology.

Введение

Чтобы организовать автономную беспроводную сеть без специального частотного разрешения и с низким энергорасходом, необходимо использовать технологию ZigBee. Благодаря большому количеству максимальных узлов в сети можно увеличивать количество устройств до 2^{16}. Данный протокол позволяет безопасно использовать при небольших скоростях и длительном сроке работу устройств от независимых источников питания. Ранее было невозможным использовать достаточно сложную структуру сети, которая обладала столь стабильной и самоорганизующейся, и самовосстанавливающейся ячеистой топологией с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений. Также, спецификация протокола ZigBee предлагает выбор алгоритма маршрутизации, в зависимости от целей и задач, которые требуется решить.

Актуальность работы. Устройства, основанные на беспроводных сенсорных сетях, позволяют облегчить и упростить жизнь человека, экономя его время. На данный момент ведутся активные разработки приложений, использующих стек протоколов ZigBee, а также модификаций самих протоколов нижнего уровня.

Постановка задачи: определить основополагающие факторы развития и задачи, которые можно решить с помощью беспроводных сенсорных сетей на базе стека протоколов ZigBee.

Целью работы является изучение топологии беспроводной сенсорной сети, её конфигурации и возможности применения конкретных топологий для решений отдельных задач.

Практическая ценность работы позволяет выявить дальнейшее развитие в области применения данной технологии.

Результатом работы является краткий анализ особенностей беспроводной передачи данных по протоколу ZigBee и перспективные сферы применения.

1 Причины появления беспроводной сети на основе протокола ZigBee

Технология беспроводной передачи данных ZigBee была специально разработана для некоторых приложений, основными критериями внедрения которых являлось малое энергопотребление аппаратной части и её низкая стоимость. Отсюда следует, что питание должно осуществляться через автономные встроенные аккумуляторы, а время работы без замены таких аккумуляторов стремиться к нескольким годам. Известные и популярные технологии передачи данных BlueTooth и Wi-Fi не могли позволить решить поставленные задачи.

2 Основные характеристики стекла протоколов ZigBee

Спецификация ZigBee предусматривает передачу информации в радиусе от 5 до 75 метров с максимальной скоростью 250 кбит/с. За стандартом ZigBee закреплены 27 каналов в трех частотных диапазонах — 2.4 ГГц, 915 МГц и 868 МГц. Максимальная скорость передачи данных для этих эфирных диапазонов составляет соответственно 250 кбит/с, 40 кбит/с и 20 кбит/с.

В сущности, ZigBee — это не один протокол: спецификация ZigBee (ZigBee Alliance Std.,2007) регламентирует стек протоколов, в котором протоколы верхних уровней используют сервисы, предоставляемые протоколами нижележащих уровней. В качестве двух нижних уровней (физического уровня PHY и уровня доступа к среде MAC) используется стандарт IEEE 802.15.4 (IEEE Std. 802.15.4, 2003). MAC-уровень в сети ZigBee реализует механизм CSMA-CA (прослушивания несущей и устранения коллизий), сетевой уровень (NWK) ответственен за маршрутизацию сообщений, а уровень APS (поддержки приложений) обеспечивает интерфейс с уровнем приложения (Таблица 1) [1].

Таблица 1 – Уровни модели OSI сети ZigBee/IEEE 802.15.4

Номер уровня	**OSI модель**	**Протокол**	**Функции**
7	Прикладной	APL (APS, ZDO и Application Objects) ZigBee	Передача сообщений, обнаружение устройств, определение роли устройств
6	Уровень представления	-	-
5	Сеансовый	-	-
4	Транспортный	-	-
3	Сетевой	NWK ZigBee	Безопасность, маршрутизация
2	Канальный (передачи данных)	LLC IEEE 802.15.4	CSMA/CA, передача маячков, синхронизация
		SSCS IEEE 802.15.4	
		MAC IEEE 802.15.4	
1	Физический	PHY IEEE 802.15.4	Радиоканал 2,4 ГГц

Подуровень MAC управляет доступом к радиоканалу, используя метод CSMA/CA. Он также отвечает за передачу маячковых фреймов, синхронизацию и обеспечение надежных методов передачи информации. Подуровень SSCS (Service Specific Convergence Sublayer - "подуровень сближения специфических сервисов") выполняет роль интерфейса между подуровнями LLC и MAC. Подуровень LLC выполняет связь сетевого уровня с уровнем MAC.

Топология Zigbee-сети поддерживается уровнем NWK и имеет топологию типа «звезда», «дерево» или «ячеистая сеть». В топологии типа «звезда» сеть контролируется координатором. Координатор отвечает не только за инициализацию и обслуживание сетевых устройств и всех конечных устройств, но и устройств, непосредственно взаимодействующих с ним. В ячеистой и древовидной структуре сети координатор отвечает за организацию сети и выбор некоторых ключевых параметров, но сеть может быть расширена с помощью ZigBee маршрутизаторов. В сети с древовидной топологией маршрутизаторы перемещают данные и управляющие сообщения по сети, используя иерархическую стратегию маршрутизации. Также древовидные сети могут использовать маячковую стратегию маршрутизации.

Ячеистая сеть должна обеспечить полную одноранговую коммуникацию устройств, т.е. в ячеистой сети нет устройств разных рангов (координаторов, маршрутизаторов и т.п.) - все устройства равноправны.

3 Модель передачи данных

В ZigBee имеются три типа устройств: координатор (формирует топологию сети и может устанавливать мосты с другими сетями; в каждой ZigBee сети имеется только один координатор), маршрутизатор (работает как промежуточное звено, передавая в нужном направлении данные от других устройств), конечное устройство (передает данные координатору или маршрутизатору и не может связываться с аналогичными ему устройствами) [4-8].

У топологии сетей ZigBee имеются 2 основных типа, при помощи которых выстраиваются сети с большим количеством устройств (Рисунок 1) [3].

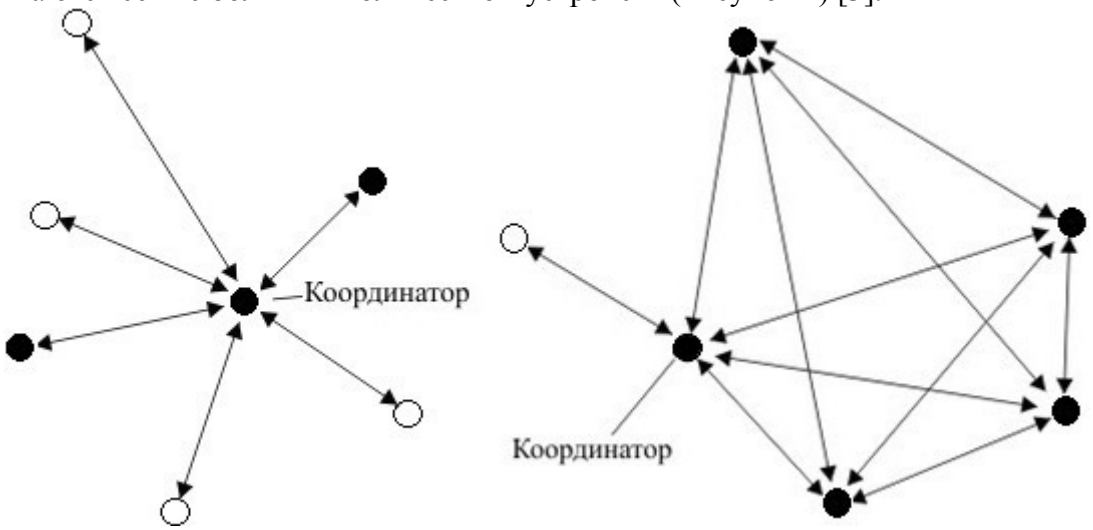


Рис. 1. Топология сети однорангового типа и типа звезда. Черный круг – устройство полнофункциональное (FFD), белый – с сокращённой функциональностью (RFD)

Стандарт различает два типа устройств: полнофункциональные устройства (FFD - Full-Function Device) и устройства с сокращенным набором функций (RFD - Reduced-Function Devices). Полнофункциональные устройства могут работать в сети с древовидной топологией в качестве координатора сети или обмениваться информацией с другими себе подобными устройства или с RFD устройствами. Устройства с сокращенным набором

функций гораздо проще и дешевле, чем полнофункциональные устройства и могут связаться только с FFD устройством. Любая сеть должна содержать, по крайней мере, одно полнофункциональное устройство.

4 Принцип работы протокола канального уровня

В спецификации IEEE802.15.4 имеется режим работы сети с маяками (специальные кадры, которые посылают в эфир все устройста с определённым промежутком времени). Данный режим позволяет максимально сберегать энергопотребление. Во время активного режима возможна передача кадров данных, в период неактивного режима узлы засыпают (рисунок 1) [2].

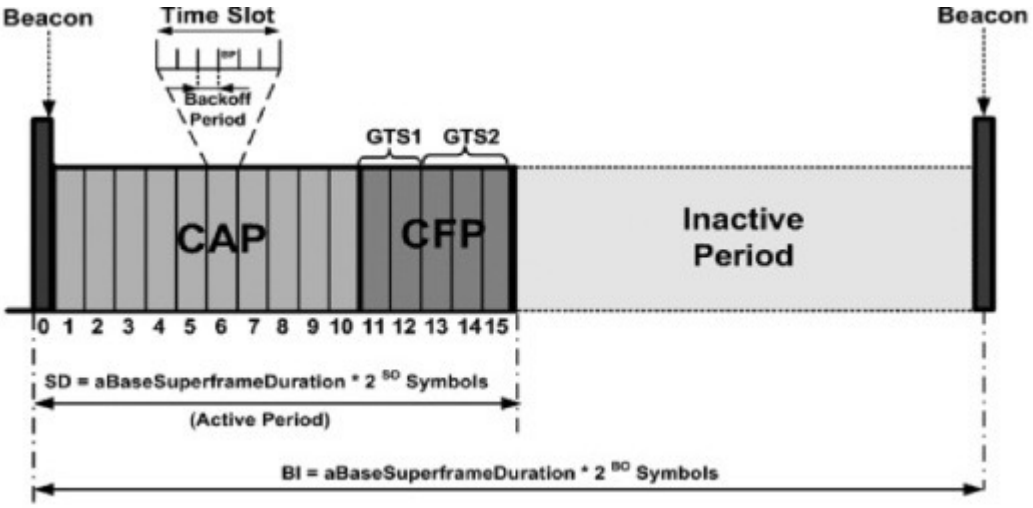


Рис. 2. Принцип работы сети в режиме с маяком

В результате получаем, что период активного режима может равняться 15мс, а скорость в частотном диапозоне 2.4 ГГц – 250 кбит/с.

В период конкурентного доступа (CAP) узлы используют CSMA-CA для получения доступа к физической среде.

Заключение

На основе беспроводных сенсорных сетей на базе стека протоколов ZigBee может быть развернута инфраструктура систем позиционирования в режиме реального времени. Поэтому технология ZigBee подходит для использования в следующих сферах: системы автоматизации жизнеобеспечения домов и строений, системы управления бытовой электроникой, системы автоматического снятия показаний с различных счетчиков, системы безопасности, системы мониторинга окружающей среды, системы промышленной автоматизации, медицинское оборудование и “периферия” персональных компьютеров.

Преимуществами являются малое время отклика, низкое энергопотребление отдельных устройств, способность к самоорганизации и самовосстановлению сети, возможность построения ячеистой топологии, защищённость, помехоустойчивость.

Литература

1. Waltenegus Dargie, Christian Poelabauer «Fundamentals of Wireless Sensor Networks Theory and Practice» - Wiley Series on Wireless Communications and Mobile Computing, 311c, 2010 John Wiley & Sons Ltd.
2. Трифонов С. В., Холодов Я. А. Исследование и оптимизация работы беспроводной сенсорной сети на основе протокола ZigBee «Компьютерное исследование и моделирование». – 2012 Т. 4 №4 С. 855-869.
3. Смурыгин И. М., Власов А. И. Концепция организации беспроводных сенсорных сетей и их применение // Молодёжный научно-технический вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана.
4. ГИБРИДНЫЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕНСОРОВ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ / Под ред. Шахнов В.А. - М.: Отчет о НИР № 7.6161.2011 от 01.01.2013 (Министерство образования и науки РФ).
5. Краснобрыжий Б.В. и др. АНАЛИЗ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТА ZIGBEE // В сборнике: Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы XV Молодежная научно-техническая конференция. 2013. С. 306-314.
6. Денисенко Н.А., Лавров А.В., Муравьев К.А., Чебова А.И. ИССЛЕДОВАНИЯ СЕНСОРНОЙ СЕТИ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ // Датчики и системы. 2013. № 9 (172). С. 51-55.
7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ МЭМС-УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ТЕЧЕЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ / Под ред. Журавлевов Л.В. - М.: Отчет о НИР № 14.B37.21.1888 от 04.10.2012 (Министерство образования и науки РФ).
8. СПОСОБ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ // Патент РФ на изобретение RUS 2556423 05.07.2013.

МИКРОФЛЮИДНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ НА ЧИПЕ

Зверев А. В.
МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

MICROFLUIDIC LAB ON CHIP TECHNOLOGY DEVELOPMENT

Zverev A. V.
MSTU, Moscow, Russia

Аннотация
Рассмотрены результаты замены системы диагностики в пробирках на систему на основе миллифлюидных чипов. Показаны основные преимущества использования милли- и микрофлюидных чипов при проведении диагностики. Проанализированы перспективы развития данной технологии.

Annotation
This article shows main advantages of using milli and microfluidic devices for different specific analysis. Integrated milli and microfluidic lab-on-chip systems able to analyze very small volume of samples and handle samples in milli and pico litre range.

Введение

Существующие на сегодняшний день методы анализа в области медицинской диагностики и биоаналитической химии развиваются по направлениям повышения точности, экономичности анализа, повышения производительности аналитических систем, уменьшения времени диагностики, уменьшения габаритов и расширения функциональности. Одним из наиболее эффективных решений в этой области является использование портативных аналитических систем на основе микрофлюидных чипов, которые обладают рядом уникальных характеристик.

Экспресс-измерение малых и предельно малых концентраций веществ в жидких и газообразных пробах на месте их забора («в поле») является крайне актуальной проблемой. С развитием элементной базы электроники, микротехнологий и методик измерения размеры диагностических приборов для проведения прецизионного экспресс контроля могут быть уменьшены до переносимых устройств, а функциональные возможности могут быть существенно расширены. Недостатком текущих измерений в лабораториях является достаточно большой временной промежуток между забором пробы и доставкой в лабораторию. В результате транспортировки в пробе могут произойти изменения, которые в конечном итоге повлияют на результаты анализа. Существенным недостатком является необходимость применения сложного оборудования и задействование квалифицированного персонала.

Все это привело к появлению аналитических систем на основе микрофлюидных чипов (МФЧ), которые оперируют с малыми количествами жидкой или газообразной пробы. Данные системы получили название «лаборатория на чипе» (lab on chip, LOC) [1]. Объединяя все стадии и этапы в едином компактном устройстве, становится возможным проводить анализ при минимальном объеме проб с высокой чувствительностью, точностью и с минимальными временными затратами.

Аналитические системы на основе микрофлюидных чипов оперируют малыми количествами пробы, поэтому стоимость проведения анализа может быть существенно снижена за счет использования меньшего объема дорогостоящих реагентов, таких как коллоидное золото.

При использовании аналитической системы на основе микрофлюидного чипа возможно проведение различных типов анализа из одной пробы на одном чипе. Проба для анализа поступает по различным каналам чипа для взаимодействия с различными

реагентами, что позволяет повысить точность диагностики, провести многогранную диагностику с малыми временными затратами.

На практике все более актуальными становятся задачи определения малых и сверхмалых концентраций, что позволяет решать новый класс задач диагностирования. Определение малых концентраций веществ позволяет выявить контакт человека с взрывчатыми или наркотическими веществами там, где другие методы оказываются неэффективными.

1 Основные технологии создания микрофлюидных чипов

Для сокращения количества используемых реагентов, повышения степени интеграции, увеличения функциональности и сокращения времени анализа необходимо применение микрофлюидных чипов. Для их создания могут быть использованы литографические методы, так как они быстры, повторяемы, и обладают низкой себестоимостью при массовом производстве. Для их производства можно использовать хорошо развитые методы микроэлектроники.

В настоящее время существует много методов изготовления микрофлюидных чипов. Одни методы подходят для промышленного производства, другие для быстрого прототипирования в условиях лаборатории. Основными технологиями создания таких чипов являются технологии, основанные на использовании таких материалов как: стекло, полиуретан метакрилат (ПУМА), термопластичные эластомеры (ТПЭ), оптические адгезивы, полидиметилсилоксан (ПДМС).

Основные стадии маршрутных технологических процессов создания МФЧ показаны на рис. 1.

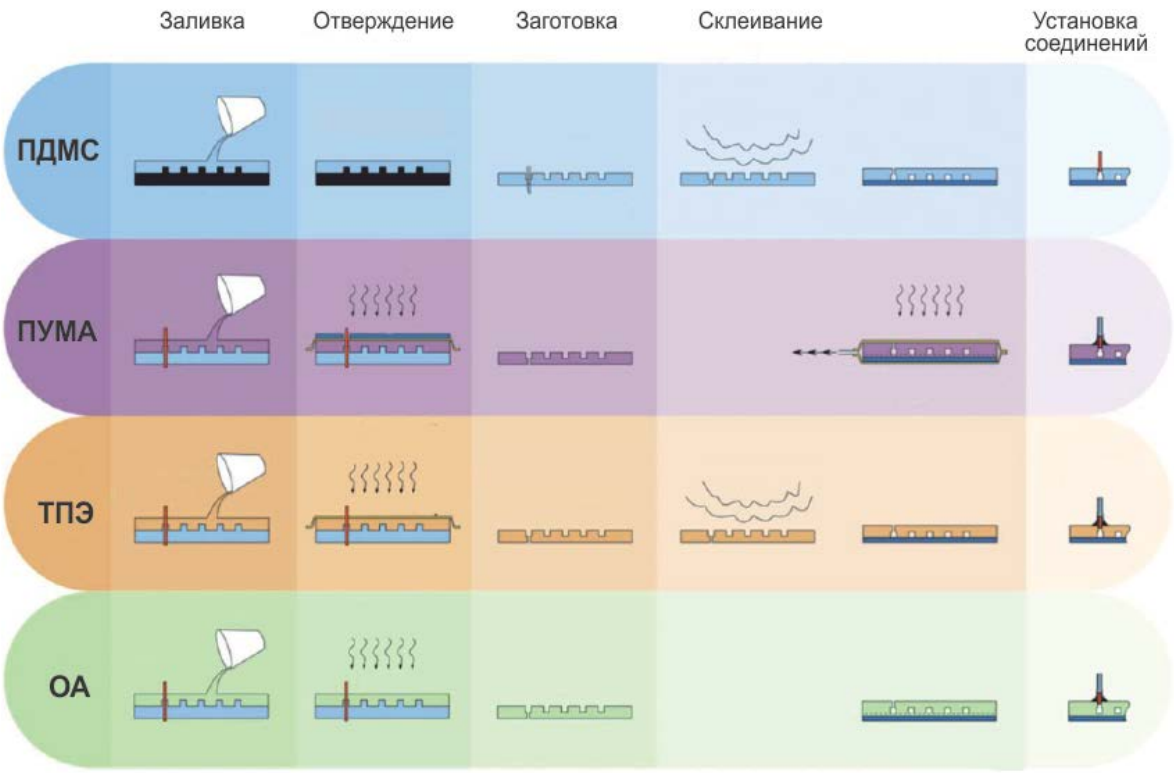


Рис. 1. Основные технологии создания МФЧ

Использование стекла для создания МФЧ позволяет добиться высокого разрешения микроканалов, кроме того стекло является химически стойким к растворителям и оптически прозрачным. Отрицательными свойствами стекла как материала для создания МФЧ является

большое время создания прототипа, высокая стоимость, необходимость дорогостоящего оборудования и технически сложные процессы создания топологии микроканалов.

Технология создания МФЧ из ПУМА является одной из самых простых. После создания мастера МФЧ он заливается ПУМА и полимеризуется УФ излучением. После отверждения оттиск ПУМА извлекается из мастера, соединяется со стеклянной подложкой и окончательно полимеризуется.

ТПЭ является хорошей заменой стеклу. Технология создания МФЧ из ТПЭ является аналогичной технологии ПУМА за исключением обработки в плазме перед окончательной полимеризацией.

Технология создания МФЧ из ПДМС является наиболее предпочтительной для быстрого прототипирования в условиях лаборатории. Это обусловлено рядом факторов: низкая стоимость, оптическая прозрачность, химическая инертность, отличная адгезия, нетоксичность, возможность использовать для многослойных микрофлюидных чипов. Несмотря на перечисленные достоинства, ПДМС имеет и серьезные недостатки, что существенно ограничивает диапазон использования. ПДМС не совместим со многими органическими растворителями, так как он имеет тенденцию к набуханию при контакте. Поверхность ПДМС с измененной структурой с течением времени теряет свои свойства. Так как ПДМС подвержен деформациям, это накладывает ограничения на работу МФЧ под большим давлением.

На рис. 2 показана технология создания мастер формы для МФЧ.

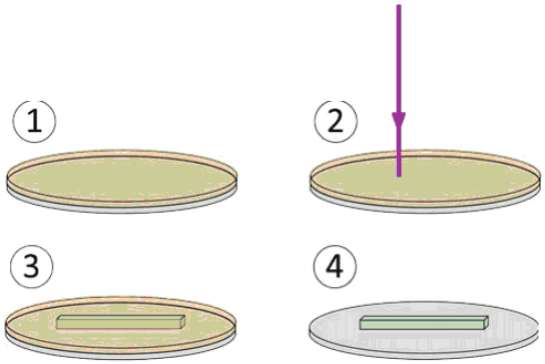


Рис. 2. Технология создания мастер формы для МФЧ

На первом этапе необходимо нанести светочувствительный материал – фоторезист. Перед нанесением фоторезиста кремниевая пластина выдерживается при 200°С для удаления влаги. Затем производится нанесение фоторезиста (рис. 2, 1) с последующей сушкой. После этого производится экспонирование топологии МФЧ (рис. 2, 2). В результате проявления фоторезиста (рис. 2, 3) получаем шаблон для создания МФЧ (рис. 2, 4).

2 Анализ задачи экологического мониторинга

В последние годы в связи с климатическими изменениями и сельскохозяйственной деятельностью человека во многих пресноводных водоёмах начали активно расти одноклеточные водоросли; особенно ярко их рост проявляется летом в самые жаркие месяцы. Причём, по мнению некоторых учёных, не только изменение климата влияет на рост водорослей, но и рост водорослей влияет на изменение климата по механизму своеобразной обратной связи.

Сами по себе одноклеточные водоросли безвредны как для животных, так и для человека. Однако некоторые из них (а именно, цианобактерий, они же сине-зелёные водоросли) в процессе жизнедеятельности синтезируют довольно широкий спектр различных цианотоксинов, оказывающих токсическое действие, в том числе, на кожу, нервную ткань и клетки печени.

Превышение популяции одноклеточных водорослей может привести к повышению предельно допустимых концентраций токсинов, что в итоге может нанести значительный вред людям и вызвать массовые отравления. Причем человеку не обязательно находится рядом с водоемом, или контактировать с водной поверхностью, чтобы получить отравление. Из водоема может производиться забор воды для нужд населения, а стандартный анализ не всегда может показать наличие малых концентраций токсинов.

Особо актуальной является диагностика предельно малых концентраций в водоемах, откуда производится забор воды для нужд населения. Токсины или отравляющие вещества могут попасть в водоемы и умышленно, особенно в свете возможных террористических актов. Определив наличие токсинов или отравляющих веществ в начальной стадии, когда концентрация их еще мала, можно избежать серьезных последствий, таких как отравления и эпидемии.

Так, в водохранилищах Российской Федерации неоднократно фиксировалась концентрация микроцистина выше 8 мкг/л, при ПДК ВОЗ 1 мкг/л. Самый тяжелый случай отравления микроцистином произошел в 1996 году в Бразилии, когда одновременно пострадали 126 человек, из них 60 человек погибли [2]. Причиной отравления было использование для гемодиализа недостаточно обработанной воды из озера, содержащего токсин. Основная мишень для микроцистина - это гепатоциты (доминирующие клетки печени). Их разрушение, в свою очередь, приводит к застою крови, увеличению размеров печени и ее некрозу. Симптомы отравления микроцистином: вялость, головокружение, озноб, частичная потеря слуха и зрения, диарея, рвота, тошнота, боль в правом подреберье, желудочно-кишечное кровотечение. Микроцистин устойчив к температурной обработке, и, по некоторым данным, его токсичность при кипячении увеличивается. При высоком содержании токсина в воде он может поражать человека напрямую во время купания или катания на лодках, вызывая раздражение кожи, либо если человек выпьет воду, содержащую токсин. Также токсин может накапливаться в рыбе, которая становится токсичной.

3 Анализ схемы теста в пробирке

Существует ряд методов диагностики цианотоксинов в воде и клетках цианобактерий. Наиболее важные критерии выбора методов диагностики - специфичность и чувствительность. Существует три основных методических подхода: биологический, физико-химический и биохимический.

Биологические методы (биоанализ) включают использование мелких животных (мыши, кролики, ракообразные и др.) и микроорганизмов в качестве тест-объектов. Преимущество этого метода состоит в простоте и быстроте анализа, но, во-первых, его применение ограничено по этическим соображениям, а во-вторых, он не дает информации о природе токсина.

Физико-химические методы включают хроматографию: тонкослойную хроматографию (TCX, TLC) [3], высокоэффективную жидкостную хроматографию (ВЭЖХ, HPLC); масс-спектрометрию с бомбардировкой быстрыми атомами (БАБ, FAB), ионизацией электрораспылением (ИЭР, ESI), с использованием режима регистрации по выбранным ионам (SIM) или по выбранным реакциям (SRM), ядерный магнитный резонанс (NMR, ЯМР). Физико-химические методы чувствительны и высокоэффективны для качественной и количественной оценки токсинов.

Биохимические методы представлены иммуноанализом (ELISA) и ферментным анализом (ингибирование белковых фосфатаз, ацетилхолинэстераз и т. п.), они стали хорошей заменой биоанализу, но менее чувствительны, чем физико-химические методики, и более всего пригодны для быстрого скрининга проб при мониторинге.

На данный момент основным методом является ферментный анализ. Измерения проводятся вблизи водоема, с использованием специальных пробирок, но требуют высокой

квалификации персонала и точных временных интервалов. Схема измерения в пробирках показана на рис. 3.

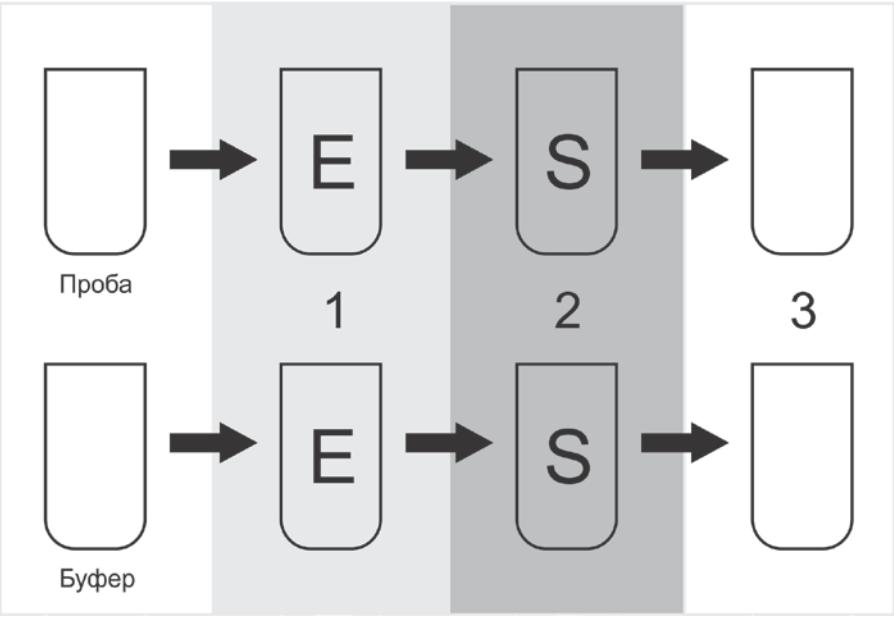


Рис. 3. Схема тестирования образца в пробирках

Перед проведением анализа производится калибровка сенсора. Для этого буферный раствор помещается в пробирку 1 с веществом E на время t1. По истечении времени t1 буферный раствор из пробирки 1 перемещается в пробирку 2 с веществом S на время t2. По истечении времени t2 буферный раствор из пробирки 2 помещается в пробирку для калибровки сенсора (3).

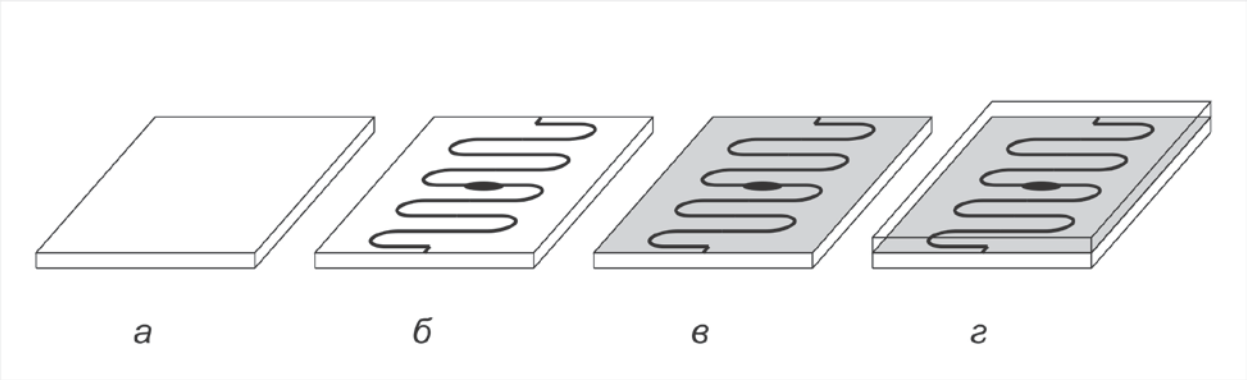
Для анализа пробы жидкости на цианотоксины, проба помещается в пробирку 1 с веществом E на время t1. По истечении времени t1 проба из пробирки 1 перемещается в пробирку 2 с веществом S на время t2. По истечении времени t2 проба из пробирки 2 помещается в пробирку для измерений (3) с сенсором. В зависимости от уровня содержания цианотоксинов в пробе изменяется ток, проходящий через сенсор.

Данный метод достаточно точен, но слишком трудоемок. Из-за присутствия человеческого фактора измерений могут значительно отличаться. Для устранения этих погрешностей следует исключить человеческий фактор из процедуры измерения.

4 Реализация миллифлюидных чипов методом микрофрезерования

С целью попытки минимизации устройства, устранения человеческого фактора, уменьшения количества дорогостоящих реагентов и повышения точности и повторяемости анализа за счет автоматизации, была разработана и применена методика измерения на миллифлюидном чипе (МЛФЧ). Путем реализации измерений на МЛФЧ апробировалось работоспособность методик измерения в потоке жидкости.

Тестовые МЛФЧ были изготовлены микрофрезерованием (micromachining) каналов на поверхности полиметилметакрилата (ПММА). ПММА является химически инертным материалом к жидким пробам, а также к химическим компонентам, используемым в анализе. На рис. 4 представлены основные этапы создания МЛФЧ из ПММА методом микрофрезерования.



а – заготовка ПММА, б – микрофрезерование, в – нанесение УФ клея, г – склеивание МЛФЧ

Рис. 4. Основные этапы создания миллифлюидного чипа из ПММА методом микрофрезерования

Для создания МЛФЧ заготовка из ПММА помешается на платформу для микрофрезерования (рис. 4, а), где выполняется нанесение топологии микроканалов (рис. 4, б). После нанесения топологии микроканалов на поверхность МЛФЧ наносится УФ клей (рис. 4, в) с последующим склеиванием МЛФЧ из 2 частей заготовок ПММА (рис. 4, г).

На рис. 5 показан МЛФЧ из ПММА с микрофрезерованием каналов для апробации работоспособности методик измерения в потоке жидкости. Структура чипа состоит из входного канала, микробассейна с сенсором и выходного канала. Увеличенное фото каналов показано на рис. 6.

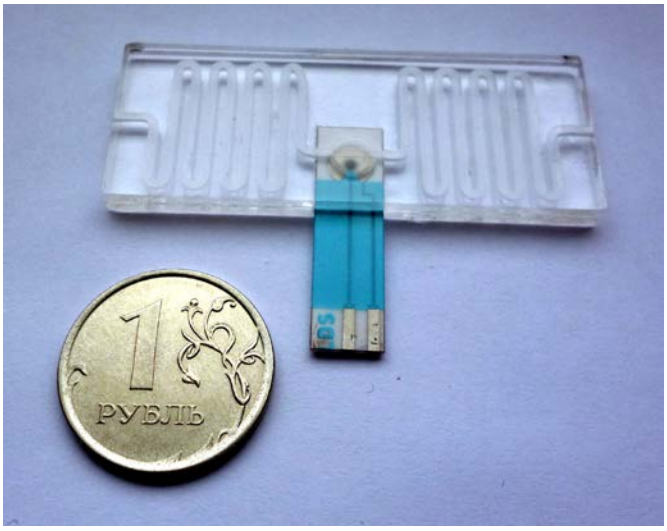


Рис. 5. МФЧ из ПММА

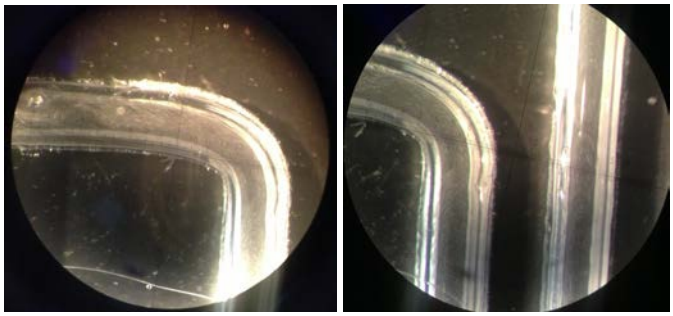


Рисунок 6. Структура каналов МФЧ из ПММА

По результатам анализа пробы с использованием МЛФЧ-чипа были получены положительные результаты, подтвердившие возможность использования МЛФЧ для анализа.

Важно отметить такие преимущества МЛФЧ как сверхмалый расход реагентов и пробы, высока чувствительность, высокое быстродействие (как следствие малых объемов), компактность и низкое энергопотребление.

5 Проект универсальной диагностической платформы

Для уменьшения размеров миллифлюидных чипов и повышения технологичности планируется реализация технологии изготовления микрофлюидных чипов из ПДМС-стекла. С целью реализации данного подхода проведены работы по нанесению фоторезиста на различные поверхности и экспонирование на лазерном литографе. На рис. 7 показана тестовая топология с шириной элемента 1 мкм.

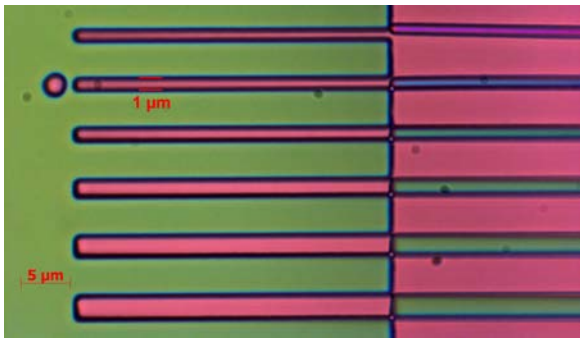


Рис. 7. Тестовая топология с разрешением 1мкм

Достигнуто разрешение экспонирования 1 мкм, что позволяет создавать различные структуры микрофлюидных чипов.

В дальнейшем планируется проектирование топологий различного назначения для: перемешивания, разделения, смешивания и других манипуляций. Планируется разработка универсальной диагностической платформы на основе микрофлюидного чипа. Данная платформа позволит проводить различные виды анализов, в том числе требующих определения предельно малых концентраций. На рис. 8 показана структурная схема универсальной диагностической платформы.

Универсальная диагностическая платформа состоит из:

- микрокомпьютера;
- устройства анализа;
- устройства манипуляции;
- модуля навигации;
- модуля связи;
- USB интерфейса.

Микрокомпьютер связывает все составляющие универсальной диагностической платформы в единый комплекс и выполняет такие функции как получение, накопление и передача данных, обработка текущего местоположения, управление проведением анализа.

Устройство анализа выполняет непосредственно анализ пробы. Для определения параметров быстрых процессов в основе устройства анализа содержится программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС), которая позволяет провести цифровую обработку сигнала с наибольшим быстродействием.

Устройство манипуляции выполняет необходимые операции с пробой. В его состав входят микронасосы, микроклапаны и другие устройства управления реакцией.

Модуль навигации служит для определения положения проведения анализа. Эти данные необходимы для дальнейшего построения карты измерений с привязкой к геолокации.

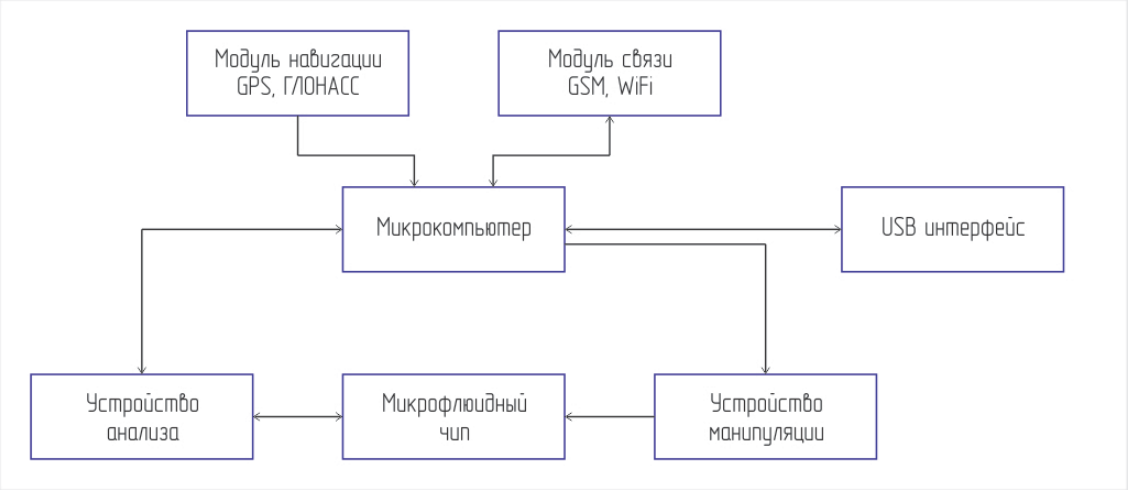


Рис. 8. Структурная схема универсальной диагностической платформы

Модуль связи предназначен для немедленной передачи результатов анализа на удаленный сервер. Это особенно актуально, так как уменьшает время между выявлением и предотвращением внештатных ситуаций.

USB интерфейс позволяет универсальной диагностической платформе работать совместно с компьютером или выгружать данные ранее произведенных измерений.

Литература

1. Elodie Sollier, Coleman Murray, Pietro Maoddi and Dino Di Carlo. Rapid prototyping polymers for microfluidic devices and high-pressure injections// Lab on chip, 2011, 11, 3752-3765.
2. Кирхнер Ю. Тонкослойная хроматография. Пер. с англ. Д. Н. Соколова и М. И. Яновского, под ред. В. Г. Берёзкина. — М.: Мир, 1981. с. 15.
3. Fatal microcystin intoxication in haemodialysis unit in Caruaru, Brazil, 1998 4;352(9121):21-6
4. Low temperature and deformation-free bonding of PMMA microfluidic devices with stable hydrophilicity via oxygen plasma treatment and PVA coating, RSC Adv., 2015,5, 8377-8388.

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ШИФРОВАНИЯ IDEA

Кадрилеев Н.М.
Научный руководитель: Леонидов В.В.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра ИУ4, Москва, Россия

HARDWARE IMPLEMENTATION OF THE ENCRYPTION ALGORITHM IDEA

Kadrileev N.M.
Supervisor: Leonidov V.V.
BMSTU, Moscow, Russia

Аннотация
Работа посвящена вопросам аппаратной реализации симметричного блочного алгоритма шифрования IDEA на основе ПЛИС Spartan-3E 500. Особое внимание уделено подсчету необходимых ресурсов ПЛИС для проекта. Были проанализированы два варианта реализация алгоритма шифрования, обладающие своими плюсами и минусами. Были произведены теоретические расчеты быстродействия и проведены реальные испытания на макете.
Ключевые слова: шифрование, ПЛИС, IDEA.

Abstract
This work is devoted to the hardware implementation of the block symmetric encryption algorithm IDEA based on the FPGA Spartan-3E 500. Special attention is paid to the calculation of the FPGA resources required for the project. Two variants of the implementation of the encryption algorithm were analyzed, both have their pros and cons. Theoretical calculations were made and performance tests were carried out on the evaluation board.
Keywords: encryption, FPGA, IDEA.

Введение

Работа посвящена вопросам аппаратной реализации симметричного блочного алгоритма шифрования IDEA на основе ПЛИС Spartan-3E 500.

Актуальность работы определяется требованием создания устройства для быстрого и безопасного шифрования данных. Помимо этого аппаратное шифрование помогает снять нагрузку с центрального процессора и освободить ресурсы ПК. Одной из проблем при шифровании данных является вопрос хранения ключа шифрования. При аппаратном шифровании ключ «вшит» в ПЛИС, что позволяет расшифровать ранее зашифрованные данные только с помощью того же самого шифратора, которым был ранее зашифрован исходный файл, при этом криптостойкость системы возрастает.

Целью работы является разработка описания проекта шифратора для ПЛИС, согласно алгоритму шифрования IDEA. При этом необходимо учитывать ограниченное количество ресурсов данной ПЛИС.

Для достижения заявленных целей в работе предусматривается решение следующего комплекса задач:

− анализ вариантов аппаратной реализации алгоритма шифрования IDEA;
− разработка описания шифратора на языке VHDL;
− произведение оценочного расчета занимаемого проектом пространства на ПЛИС;
− проведение временных расчетов, а также расчетов скорости шифрования;
− тестирование шифратора.

Результатом работы является опытный образец шифратора в виде законченного устройства.

1 Алгоритм шифрования IDEA

IDEA (англ. International Data Encryption Algorithm, международный алгоритм шифрования данных) — симметричный блочный алгоритм шифрования данных, запатентованный швейцарской фирмой Ascom. Известен тем, что применялся в пакете программ шифрования PGP. В ноябре 2000 года IDEA был представлен в качестве кандидата в проекте NESSIE в рамках программы Европейской комиссии IST (англ. Information Societies Technology, информационные общественные технологии) [1].

Так как IDEA использует 128-битный ключ и 64-битный размер блока, открытый текст разбивается на блоки по 64 бит. Если такое разбиение невозможно, последний блок дополняется различными способами определённой последовательностью бит. Для избежания утечки информации о каждом отдельном блоке используются различные режимы шифрования. Каждый исходный незашифрованный 64-битный блок делится на четыре подблока по 16 бит каждый, так как все алгебраические операции, использующиеся в процессе шифрования, совершаются над 16-битными числами. Для шифрования и расшифрования IDEA использует один и тот же алгоритм.

Фундаментальным нововведением в алгоритме является использование операций из разных алгебраических групп, а именно:

- сложение по модулю 2^{16};
- умножение по модулю $2^{16}+1$;
- побитовое исключающее ИЛИ (XOR).

Применение этих трех операций затрудняет криптоанализ IDEA по сравнению с DES, который основан исключительно на операции исключающее ИЛИ, а также позволяет отказаться от использования S-блоков и таблиц замены. IDEA является модификацией сети Фейстеля.

Из 128-битного ключа для каждого из восьми раундов шифрования генерируется по шесть 16-битных подключей, а для выходного преобразования генерируется четыре 16-битных подключа. Всего потребуется 52 = 8 * 6 + 4 различных подключей по 16 бит каждый. Процесс генерации пятидесяти двух 16-битных ключей представлен на рисунке 1.

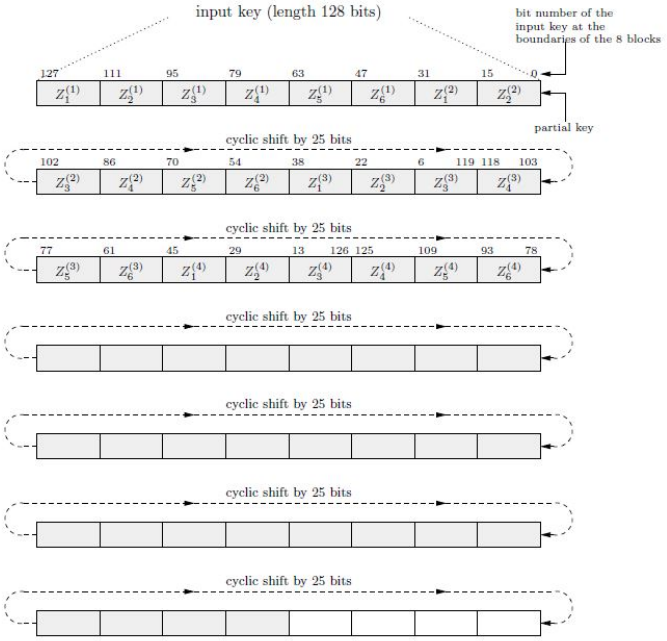


Рис. 1. Генерация подключей для алгоритма шифрования IDEA

Структура алгоритма IDEA показана на рисунке 2. Процесс шифрования состоит из восьми одинаковых раундов шифрования (рисунок 3) и одного выходного преобразования (рисунок 4).

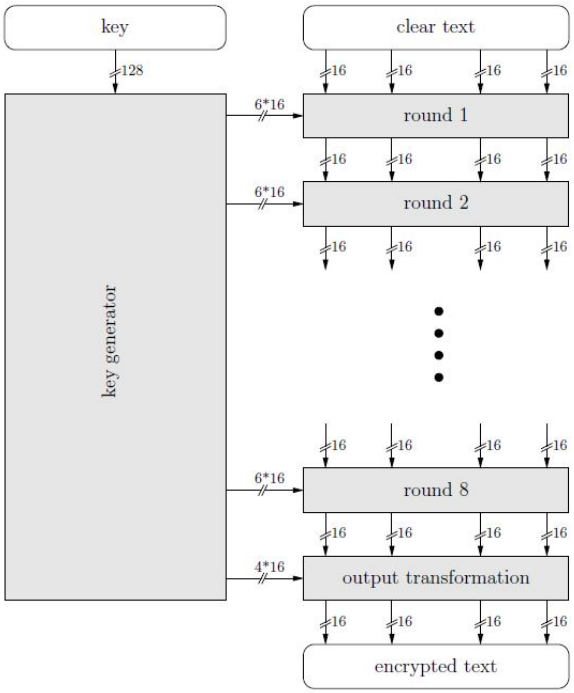


Рис. 2. Структура алгоритма шифрования IDEA

Исходный незашифрованный текст делится на блоки по 64 бита. Каждый такой блок делится на четыре подблока по 16 бит каждый. На рисунке эти подблоки обозначены X1, X2, X3, X4. В каждом раунде используются свои подключи согласно таблице подключей. В конце каждого раунда шифрования имеется четыре 16-битных подблока Y1, Y2, Y3, Y4, которые затем используются как входные подблоки для следующего раунда шифрования.

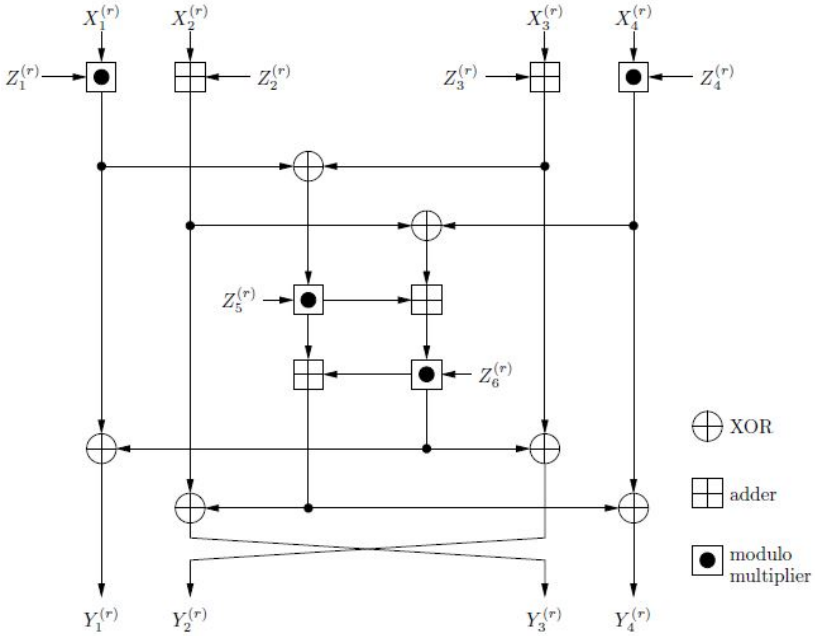


Рис. 3. Один раунд алгоритма шифрования IDEA

Выходное преобразование представляет собой укороченный раунд, а именно, четыре 16-битных подблока на выходе восьмого раунда и четыре соответствующих подключа подвергаются операциям:

- сложение по модулю 2^{16};
- умножение по модулю $2^{16}+1$.

После выполнения выходного преобразования конкатенация подблоков Y1(9), Y2(9), Y3(9), Y4(9) представляет собой зашифрованный текст. Затем берется следующий 64-битный блок незашифрованного текста и алгоритм шифрования повторяется. Так продолжается до тех пор, пока не зашифруются все 64-битные блоки исходного текста [2].

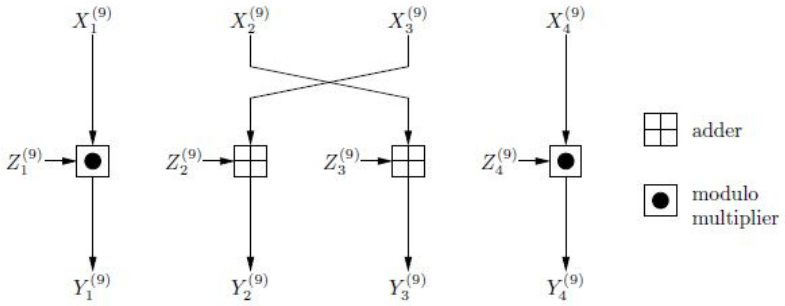


Рис. 4. Выходное преобразование алгоритма шифрования IDEA

Метод вычисления, использующийся для расшифровки текста по существу такой же, как и при его шифровании. Единственное отличие состоит в том, что для расшифровки используются другие подключи. В процессе расшифровки подключи должны использоваться в обратном порядке.

2 Прямая реализация алгоритма шифрования IDEA

Прямая реализация заключается в том, что отдельный элемент каждого раунда шифрования занимает место на FPGA, поэтому никакого контроля потока данных вводить не нужно, а значит данный вариант будет асинхронным (без тактирования).

Для прямой реализации необходимы следующие модули:

- XOR;
- умножение по модулю
- сложение по модулю;
- раунд шифрования, включающий предыдущие три модуля;
- модуль выходного преобразования, также включающий модули XOR, сложения и умножения.

После реализации и тестирования этих модулей создается модуль шифрования, который состоит из восьми модулей «раунд шифрования» и одного модуля выходного преобразования.

В итоге получается быстродейственный, но колоссальный по размеру проект (таблица 2.1). Задержка в работе модуля определяется лишь задержками передачи сигналов между элементами FPGA.

Таблица 2.1 – Необходимые ресурсы для отдельных модулей [2]

Модуль	**LUTs**	**FlipFlops**	**Hardcore Multiplier**
XOR	16	0	0
Adder	16	0	0
Modulo-Multiplier 1	106	0	1
Modulo-Multiplier 1	390	0	0

На рисунке 5 представлен типичный логический блок состоящий из функциональных генераторов F и G, каждый из который представляет из себя таблицу истинности (LUT).

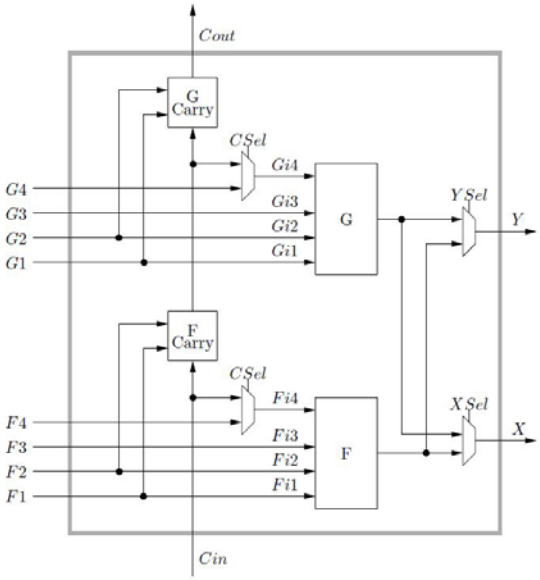


Рис. 5. Упрощенный вид логического блока ПЛИС

И как следствие вышесказанного, данный проект не представляется возможным разместить на ПЛИС Spartan-3E, т.к. он включает 48 XOR модулей (768 LUTs), 34 сумматора (544 LUTs) и такое же количество мультипликаторов (3604 LUTs + 34 hardcore-multipliers) и как итог около 4916 LUTs. На самом деле в ПЛИС Spartan-3E содержится более 9312 LUTs, которых на первый взгляд достаточно, но в ней оказывается недостаточно мультипликаторов, находящихся на ПЛИС (20), тогда недостающие 14 мультипликаторов будут созданы с помощью LUTs, что в итоге увеличит размер проекта до 8892 LUTs, что уже составляет 95% ресурсов ПЛИС. Более того генератор ключей также требует ресурсов для создания 52 подключей. Отсюда приходим к выводу, что прямая реализация не подходит для данной ПЛИС.

3 Реализация алгоритма шифрования IDEA с одним раундом

В этой реализации будем использовать только один раунд и выходное преобразование. Это возможно, потому что все 8 раундов имеют одинаковую структуру. Результаты каждого раунда вычислений могут быть сохранены в регистрах и использоваться в качестве входных данных для следующего раунда. После 8 раундов сохраненные значения затем передаются для выходного преобразования. Модуль управления используется для контроля за потоком данных (рисунок 6).

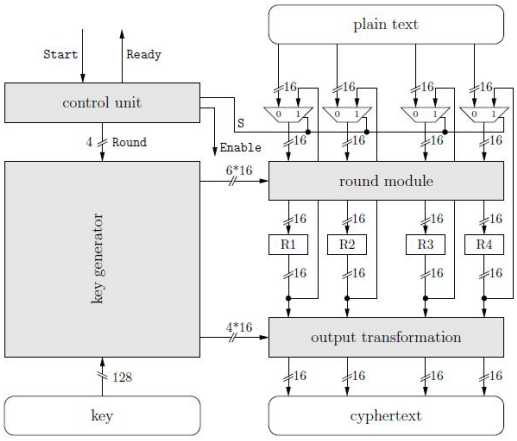


Рисунок 6 – Алгоритм шифрования IDEA с одним раундом

Чтобы реализовать данную версию алгоритма шифрования IDEA необходимы новые модули, а именно 16-разрядный регистр для сохранения промежуточных результатов после каждого раунда, 2-в-1 мультиплексор для выбора входных параметров следующего раунда, генератор подключей, и самый важный – модуль управления, диаграмма сигналов которого представлена на рисунке 7.

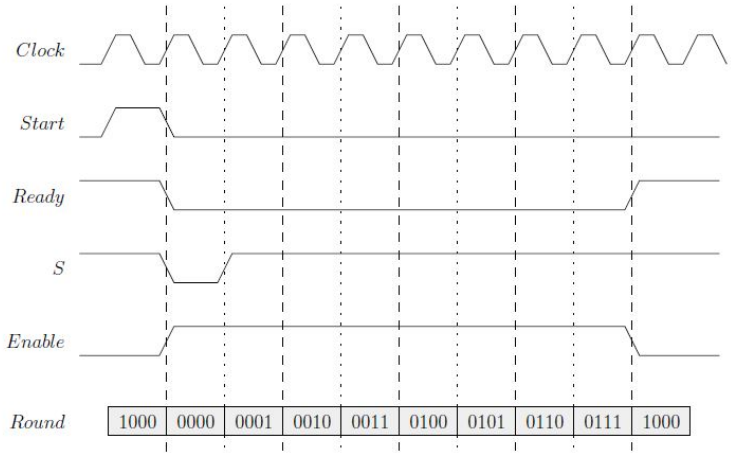


Рис. 7. Диаграмма сигналов модуля управления

В данной реализации использовалось намного меньше ресурсов, поэтому теперь проект полностью подходит для использования в Spartan-3E. Быстродействие алгоритма в данной реализации стало зависеть от тактовый частоты Clock, но любую тактовую частоту выбирать нужно исходя из задержек элементов, максимальная задержка одного раунда составляет 96 нс, которая состоит из одной задержки установки значения регистра (4 нс), трех задержек мультипликатора (66 нс), трех задержек сумматора (30 нс) и двух задержек элемента XOR (6 нс). Поэтому максимальная частота работы шифратора составит 10.4 МГц, а значит за одну секунду можно выполнить 1302083 операции кодирования 64 бит данных, тоесть скорость шифрования составит 80 Мбит/сек.

В плане занимаемого пространства на ПЛИС проект стал намного менее ресурсоемким. Для реализации данного варианта используются: 6 модулей XOR, 6 сумматоров, 6 мультипликаторов, 4 16-битных регистра и 4 мультиплексора 2-в-1. В итоге, учитывая таблицу 1.2.1 весь проект займет около 950 LUTs, что является лишь десятой частью от всего объема LUTs.

4 Аппаратная реализация модуля шифрования IDEA

В разделе 3 уже были описаны теоретические основы реализации модуля шифрования, а также приведена его структурная схема и тактовая диаграмма контроллера шифрования (рисунки 6, 7). На рисунке 9 представлена иерархия модуля шифрования.

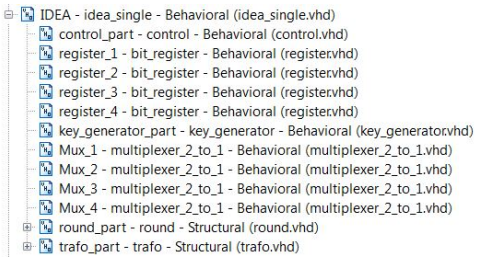


Рис. 9. Структура модуля IDEA

Модуль шифровании состоит из контроллера шага шифрования (control_part), четырех регистров, запоминающих промежуточные этапы шифрования (register_1 – register_4), генератора подключей (key_generator_part), четырех мультиплексоров (Mux_1 – Mux_4), а также модулей комбинаторной логики (round_part, trafo_part), осуществляющие непосредственно операцию шифрования.

Модуль round_part состоит из элементов комбинаторной логики, а именно:

1) операция «исключающее или» (xorop);

2) операция «сложение по модулю (addop);

3) операция «умножение по модулю (mulop).

На один круг шифрования необходимы шесть элементов xorop и по четыре элемента addop и mulop. Модуль trafo_part состоит из тех же элементов комбинаторной логики, как и round_part, кроме «исключающего или». В финальном преобразовании участвуют по два элемента addop и mulop. На рисунке 10 представлен алгоритм работы модуля шифрования

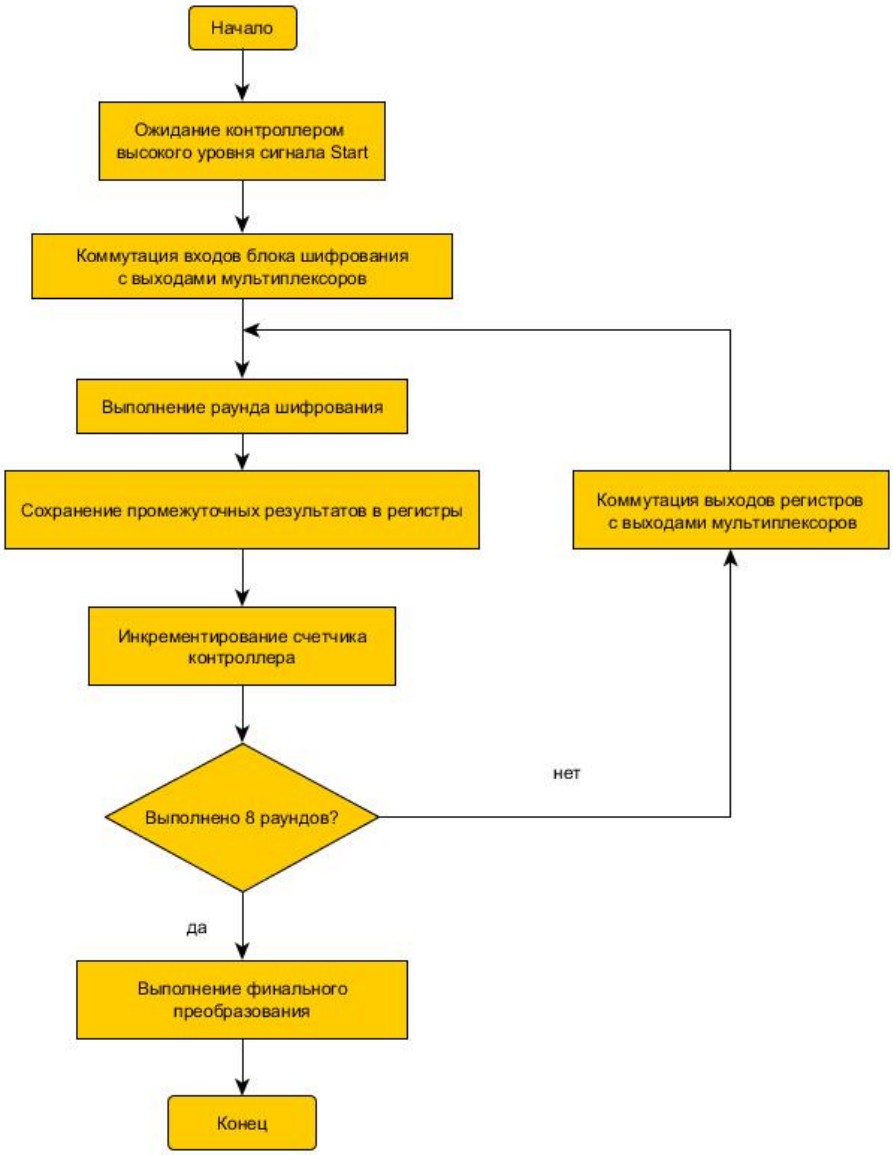


Рис. 10. Алгоритм работы блока шифрования

Опишем основные модули, а именно мультиплексоры, регистры и элементы комбинаторной логики. В таблице 1 представлено описание мультиплексора 2в1 на языке VHDL [2].

Таблица 1. Листинг кода описания мультиплексора 2 в 1

```
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;

entity multiplexer_2_to_1 is
    Port ( S : in  STD_LOGIC;
           A : in  STD_LOGIC_VECTOR (15 downto 0);
           B : in  STD_LOGIC_VECTOR (15 downto 0);
           O : out  STD_LOGIC_VECTOR (15 downto 0));
end multiplexer_2_to_1;

architecture Behavioral of multiplexer_2_to_1 is
begin

      multiplexer_process: process(S, A, B)
      begin
            case S is
                  when '0' => O <= A;
                  when '1' => O <= B;
                  when others => O <= "XXXXXXXXXXXXXXXX";
            end case;
      end process multiplexer_process;

end Behavioral;
```

Сигналы A и B – 16-битные информационные входы, O – 16-битный выход, S – управляющий сигнал. Процесс multiplexer_process работает следующим образом: когда меняется значение одного из информационных входом, либо при изменении значения управляющего сигнала, происходит установка значения на выходе модуля. При S = 0 на выходе появляется значение с входа A, при S = 1 значение со входа B. Управляюзий сигнал генерируется контроллером блока шифрования, который делает управляющий сигнал, равный нулю, только на первом шаге шифрования, т.е. данные с входов блока шифрования поступают на вход раунда шифрования, в остальных же случаях на вход раунда поступают результаты предыдущего раунда.

В таблице 2 представлено описание регистра на языке VHDL.

Таблица 2. Листинг кода описания регистра

```
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;

entity bit_register is
    Port ( clk : in  STD_LOGIC;
                    ENABLE : in STD_LOGIC;
                    D : in STD_LOGIC_VECTOR (15 downto 0);
                    Q : out  STD_LOGIC_VECTOR (15 downto 0) := (others =>
'0'));
end bit_register;
architecture Behavioral of bit_register is
begin
      process (clk)
      begin
            if (clk='1' and clk'EVENT ) then
                  if (ENABLE='1') then
                        Q <= D;
                  end if;
            end if;
      end process;
end Behavioral;
```

По стилю описания регистра можно заметить, что он является синхронным, т.е имеет тактовый сигнал на входе. По переднему фронту сигнала clk, и при условии, что управляющий сигнал равен 1 (ENABLE = 1), регистр запоминает данные с 16-битного информационного входа D. В таблице 3 представлено описание элемента «исключающее или» на языке VHDL.

Таблица 3. Листинг кода описания элемента «XOR»

```
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;

entity xorop is
    Port ( I1 : in  STD_LOGIC_VECTOR (15 downto 0);
           I2 : in  STD_LOGIC_VECTOR (15 downto 0);
           O : out  STD_LOGIC_VECTOR (15 downto 0));
end xorop;

architecture Behavioral of xorop is

begin

      O <= I1 xor I2;

end Behavioral;
```

Операция «исключающее или» определена в языке VHDL как стандартная, поэтому сама операция записывается в одну строчку, информационные входы и выходы являются 16-битными.

В таблице 4 представлено описание элемента «сложение по модулю» на языке VHDL.

Таблица 4. Листинг кода описания элемента «сложение по модулю»

```
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.std_logic_unsigned.ALL;

entity addop is
       generic (width: integer:=16);
    Port ( I1 : in  STD_LOGIC_VECTOR (width-1 downto 0);
           I2 : in  STD_LOGIC_VECTOR (width-1 downto 0);
            O  :  out   STD_LOGIC_VECTOR  (width-1  downto  0)  :=  (others  =>
'0'));
end addop;

architecture Behavioral of addop is

begin
      O <= I1 + I2;
end Behavioral;
```

Операция «сложение по модулю» выполняется в одно действие благодаря использованию библиотеки «IEEE.std_logic_unsigned.ALL». Также не нужно предпринимать никаких дополнительных вычислений, для расчета операции деления по модулю на 2^{16} (алгоритм IDEA), т.к. если результат сложения получится меньше 2^{16}, то сам результат и будет остатком от деления на 2^{16}, если же результат сложения получится больше 2^{16}, то в выходной сигнал как раз и сохранится остаток от деления, потому что выходной сигнал имеет разрядность 16 бит.

В таблице 5 представлено описание элемента «умножение по модулю» на языке VHDL.

Таблица 5. Листинг кода описания элемента «умножение по модулю»

```
      library IEEE;
      use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
      use IEEE.std_logic_unsigned.ALL;

      entity mulop is
            Port ( X : in STD_LOGIC_vector(15 downto 0);
                        Z : in STD_LOGIC_vector(15 downto 0);
                        O  :  out  STD_LOGIC_vector(15  downto  0)  :=  (others  =>
'0'));
      end mulop;

      architecture Behavioral of mulop is
      begin
            mulop_process: process(X,Z)
            variable a : STD_LOGIC_vector(16 downto 0);
            variable b : STD_LOGIC_vector(16 downto 0);
            variable m : STD_LOGIC_vector(33 downto 0);
            variable modulo : STD_LOGIC_vector (15 downto 0);
            variable div : STD_LOGIC_vector (17 downto 0);
            variable tmp : STD_LOGIC_vector (17 downto 0);
            begin
            a := ('0'&X);
            b := ('0'&Z);

            if (X = "0000000000000000") then
                  a := "10000000000000000";
            end if;
            if (Z = "0000000000000000") then
                  b := "10000000000000000";
            end if;

            m := a*b;
            modulo :=m (15 downto 0);
            div := m(33 downto 16);
            if modulo < div then
                  tmp := ("00"&modulo)-div+("010000000000000001");
                  O <= tmp(15 downto 0);
            else
                  tmp := ("00"&modulo)-div;
                  O <= tmp(15 downto 0);
            end if;
            end process;
      end Behavioral;
```

Данная операция является самой сложной, т.к. ее суть заключается в том, что два 16-разрядных числа перемножаются, а если одно из числе равняется 0, то оно заменяется 2^{16}, и затем полученный результат делится по модулю на $(2^{16} + 1)$. Если проводить эти операции последовательно, то потребуются большие ресурсы ПЛИС. поэтому существует так называемый «Low-High Algorithm», формула которого представлена на рисунке 11.

a and b are two integers out of $\{1, \ldots, 2^n\}$:

$$ab \bmod (2^n+1) = \begin{cases} (ab \bmod 2^n) - (ab \operatorname{div} 2^n), & (ab \bmod 2^n) \geq (ab \operatorname{div} 2^n) \\ (ab \bmod 2^n) - (ab \operatorname{div} 2^n) + 2^n + 1, & (ab \bmod 2^n) < (ab \operatorname{div} 2^n) \end{cases}$$

Рис. 11. «Low-High Algorithm» [2]

Если даны два натуральных числа, лежащих в интервале от 1 до 2^n, то операцию умножения этих чисел по модулю $2^n + 1$ можно представить как умножение этих чисел по модулю 2^n минус целая часть от деления их произведения на 2^n, когда остаток от деления больше или равен целой части, либо как умножение этих чисел по модулю 2^n минус целая часть от деления их произведения на 2^n плюс $2^n + 1$, при условии, что остаток от деления меньше целой части.

Как известно, деление и умножение двоичного числа на степень двойки равносильно сдвигу разрядов этого числа на число, равное степени двойки. Поэтому раз мы делим на 2^{16}, то младшие 16 разрядов будут являться остатком от деления, а старшие разряды – целой частью от деления. Затем применяя формулы «Low-High Algorithm» мы получаем конечный результат. На рисунке 12 представлена временная диаграмма работы модуля шифрования.

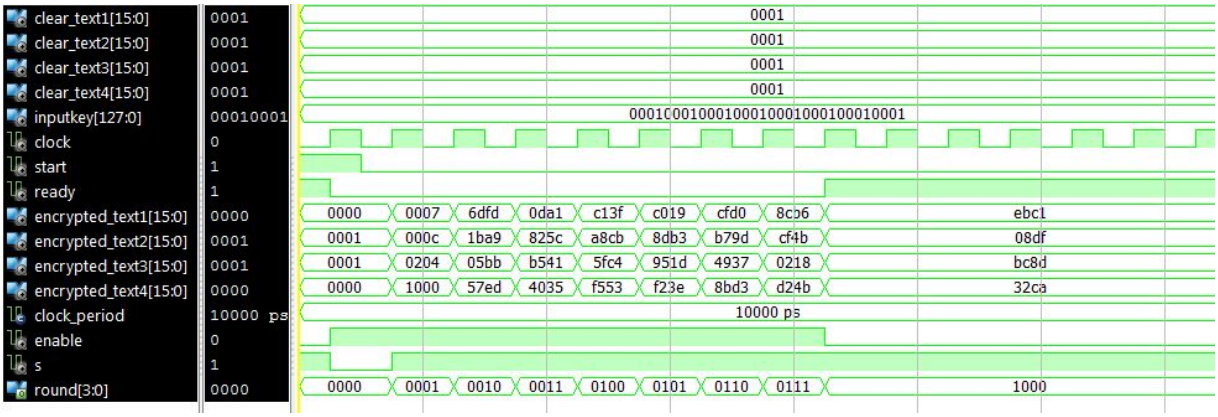


Рис. 12. Временная диаграмма модуля шифрования

Как видно из рисунка 12, при входных 16-битных данных, представленных в шестнадцатеричном формате (на всех входах 0001_{16}) и входном 128-битном ключе ($00010001000100010001000100010001_{16}$) за 9 тактов сигнала clock происходит полный цикл шифрования (8 раундов + финальное преобразование) и зашифрованные данные можно снимать с шины, о чем сигнализирует «1» выхода ready. Шифрование начинается с подачи «1» на вход start. В зависимости от текущего раунда (round), генератор ключей вырабатывает значение ключа, необходимое для текущего раунда.

Для тестирования контроллера было разработано приложение, суть которого заключается в следующем: с ПК мы передаем посылку на ПЛИС, содержащую 64 бита информации и 128-битный ключ, ПЛИС производит шифрование по алгоритму IDEA и высылает зашифрованные данные обратно на ПК, в этот же момент на ПК программно производится расчет зашифрованной посылки [5, 6]. Затем полученные данные сравниваются и из них можно сделать вывод о корректности функционирования прошивки для ПЛИС в плане реализации алгоритма шифрования IDEA. На рисунке 13 представлена работа приложения.

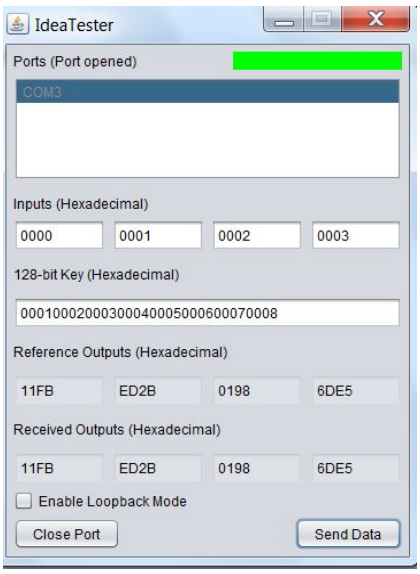


Рис. 13. Работа приложения IDEATester

Анализируя результаты, можно сделать вывод о корректности работы шифратора (оба рассчитанных результата совпадают).

Заключение

В ходе проведенной работы была разработана аппаратная реализация блочного симметричного алгоритма шифрования IDEA на основе ПЛИС Spartan-3E 500. Описаны два варианта реализации, для каждого из которых подсчитано занимаемое на ПЛИС место, на основании этого расчета был выбран вариант с одним раундом шифрования, для которого помимо всего прочего была подсчитана рекомендуемая тактовая частота и, следовательно, его быстродействие. Проведены испытания на отладочном комплекте и тестовом ПО, которые показали полную работоспособность проекта. В четвертой главе была произведена разработка аппаратной части шифратора. Представлены алгоритмы работы конечного автомата блока шифрации. Представлен VHDL-код, описывающий основные элементы блоков с краткими комментариями. По результатам тестирования рабочего макета можно сделать вывод, что шифратор обладает необходимым функционалом.

Литература

1. IDEA [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/IDEA. Дата обращения: 18.10.2015.
2. Prof. Dr.-Ing. Ulf Schlichtmann. Hardware Implementation of an Encryption Algorithm. - M.: Institute of Electronic Design Automation Technische Universität München – 2014. 71 с.
3. FPGALink [Электронный ресурс] URL: https://github.com/makestuff/libfpgalink/wiki/FPGALink. Дата обращения: 12.10.2015.
4. Устройство управления системой безопасности [Электронный ресурс] URL: http://works.doklad.ru/view/SBI9YLU64k0/8.html. Дата обращения: 10.10.2015.
5. Иванов А.М., Власов А.И. ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОГРАММНЫХ МОДЕЛЕЙ КОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. № 10. С. 24.
6. Котельницкий А.В., Власов А.И. ПРИМЕНЕНИЕ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ НА КРИСТАЛЛЕ // Инженерный вестник. 2012. № 9. С. 10.

Научный семинар

"Промышленная керамика. Технологии, сферы применения",
31 мая, 9.00, Зал Ученого совета, г. Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Научный семинар "Промышленная керамика. Технологии, сферы применения", проводится компанией «Алл Импекс 2001», выступающая на российском рынке официальным представителем Института керамических технологий и систем Общества имени Фраунгофера (г. Дрезден, Германия).

В рамках семинара с участием немецких специалистов будут рассмотрены последние достижения в разработках керамических технологий и систем.

Основанное в 1949 году Óбщество имени Фраунгóфера является крупнейшим в Европе объединением институтов прикладных исследований. Деятельность Общества осуществляется силами 67 институтов и научно-исследовательских организаций на территории всей Германии, а также его филиалами в США, Европе и Азии. Штат сотрудников Общества Фраунгофера в настоящее время составляет 24 тыс. человек, его годовой бюджет превышает 2,1 млрд евро. Более 1,8 млрд евро из этой суммы поступает от исследований, выполняемых в рамках контрактных работ.

Институт керамических технологий и систем Фраунгофера выполняет прикладные научно-исследовательские работы в области керамических материалов нового поколения. Три подразделения института, расположенных в Дрездене и Хермсдорфе (земля Тюрингия), представляют собой крупнейшую в Европе научно-исследовательскую организацию в области изучения керамических материалов.

В ходе семинара будут затронуты следующие темы:

1. Технологии толстопленочных и многослойных керамических материалов и сферы их применения (микро- и силовая электроника, ф тоэлектрическая энергетика, датчики, радиаторы, микрожидкости и др.).

2. Твёрдооксидные топливные элементы (ТОТЭ), работающие на принципе прямого преобразования химической энергии в электрическую (методы разработки концепций ТОТЭ, технологии производства, характерные примеры системной интеграции, базовые достижения Института).

3. Электрохимические способы сохранения энергии на базе последнего поколения литиевых и натрий никель-хлоридных аккумуляторных батарей (направления исследовательской деятельности, функциональные характеристики батарей различных типов, электрохимические характеристики материалов, особенности производственного процесса, способы снижения производственных расходов, перспективные технологические разработки).

Выступления докладчиков будут сопровождаться показом видеоматериалов, детально иллюстрирующих освещаемую тему.

Поздравляем заведующего кафедрой ИУ4

Вадима Анатольевича Шахнова

с 75 летним юбилеем!

Шахнов Вадим Анатольевич
(родился 29.01.1941, г. Москва)

Вадим Анатольевич Шахнов - член-корреспондент РАН, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии СССР, премии Совета Министров СССР, премий Правительства РФ возглавляет кафедру "Проектирование и технология производства ЭА" МГТУ им.Н.Э.Баумана с 1991 года.

Ниже приводятся некоторые факты из биографии Шахнова В.А., о возглавляемой им кафедре в МГТУ им. Н.Э. Баумана и научной школы в области конструкторско-технологической информатики в радиоэлектронике.

Вадим Анатольевич Шахнов родился 29 января 1941 года в Москве. Началась война, мама Вадима Анатольевича оставляет учебу и они переезжают к ее сестре в город Фрунзе (Киргизская ССР). Здесь Вадим Анатольевич пошел в школу, отлично учился. После окончания второго класса семья переезжает в город Кушку (Туркменская ССР), где прожили они семь лет. В школе были прекрасные учителя математики и физики, которые привили любовь к этим предметам. Десятый класс Вадим Анатольевич заканчивает в городе Мары (Туркменская ССР) с двумя четверками в аттестате: по литературе и химии.

Переехав в г.Фрунзе, Вадим Анатольевич работает фрезеровщиком на инструментальном заводе им. В.И.Ленина, много занимается на подготовительных курсах Фрунзенского политеха и в 1959 г., сдав экзамены на все пятерки, поступает во Фрунзенский политехнический институт (г. Фрунзе, Киргизская ССР). В вузовской учебе тогда было нововведение: учились вечером, а днем работали на производстве, осваивая будущие специальности [1].

В Политехе высшую математику преподавал замечательный педагог Д.Джунушев. Он преподносил сложный материал настолько просто и доходчиво, что почти все его студенты сдавали экзамены с первого захода. В Вадиме Анатольевиче он сразу отметил способность к математике, давал дополнительные задания и впоследствии привлекал к приему экзаменов у вечерников.

После успешного окончания второго курса и работы фрезеровщиком на заводе им. В.И. Ленина Вадим Анатольевич приезжает в Москву, подает документы в Физтех, МЭИ и МВТУ им.Н.Э.Баумана и так складывается его дальнейшая судьба, что он становится студентом последнего. В 1961 году он становится студентом кафедры «Вычислительные машины» (П6) МВТУ им.Н.Э.Баумана, руководимой профессором Анисимовым Б.В. [2].

Учеба в МВТУ в те времена была настоящей школой жизни. Лекции читали профессионалы своего дела, практики: проф. Н.Н. Малинин, доц. А.Я. Савельев, доц. В.Н. Голубкин, проф. Б.В. Анисимов, проф. А.Н. Малов и другие. Все они проводили занятия с большим профессионализмом и внимательно относились к студентам. С большой теплотой вспоминал Вадим Анатольевич в дальнейшем заместителя декана, доц. Н.И. Фадеева, который в тяжелые годы помогал ему, устраивал на подработку на разные кафедры.

Во время учебы Вадим Анатольевич активно занимался спортом, участвовал в межинститутской спартакиаде по легкой атлетике, занимался альпинизмом (покорил пик Электра на Памире, 4050 м.). Принимал участие в работе студенческого театра, даже принял участие в съемках фильма "Война и мир".

На последнем курсе, когда встал вопрос о преддипломной практике, зав. кафедрой, проф. Б.В. Анисимов помог Вадиму Анатольевичу устроиться в Зеленоград, к проф. Д.И. Юдицкому и проф. И.Я. Акушскому. Сразу окунувшись в работу, Вадим Анатольевич принял участие в работах по разработке основ архитектуры ЭВМ, работающих в остаточных классах. Практика оказалась крайне полезной: в июне 1966 года Вадим Анатольевич первым в МВТУ представил на защиту дипломный проект, в котором подробно рассматривалась технология и применение микросхем типа "Тропа". Дипломный проект был защищен на отлично и Вадим Анатольевич заканчивает МВТУ с красным дипломом.

В сентябре 1966 году, закончив МВТУ им. Н.Э. Баумана и получив диплом инженера по специальности «Математические и счетно-решающие приборы и устройства», Шахнов В.А. начал работать в Зеленоградском НПО «Научный центр», где начал заниматься

исследованиями быстропротекающих процессов в тонких магнитных пленках и проблемами разработки быстродействующих запоминающих устройств ЭВМ.

В этом же году он поступил в заочную аспирантуру Московского института электронной техники, обучение в которой завершил в 1970 г. защитой кандидатской диссертации под руководством замечательного ученого и педагога, доктора технических наук, профессора Преснухина Л.Н. Начиная с этого времени, Вадим Анатольевич работает по совместительству в МИЭТ, где преподает курс "Конструирование ЭВМ и систем".

С 1970 г. Шахнов В.А. участвует в разработках мини- и микро-ЭВМ, микропроцессоров и микропроцессорных средств вычислительной техники в Специализированном вычислительном центре (СВЦ), руководимом доктором технических наук, профессором Юдицким Д.И. В это время в СВЦ была создана первая в стране миниЭВМ, были разработаны первые в мире 16-разрядные КМОП - микропроцессоры с оригинальной архитектурой и микро ЭВМ на их основе. Итоги исследований этих лет нашли отражение в книге, подготовленной совместно с Л.Н.Преснухиным - "Конструирование ЭВМ и систем", которая на много лет стала настольной книгой инженеров-разработчиков вычислительных систем.

С 1976 г. Шахнов В.А. руководит работой отраслевого отдела микропроцессоров и микропроцессорных средств вычислительной техники Минэлектронпрома СССР, координируя работы всех предприятий отрасли в этом важнейшем направлении развития науки и технологии. Основные направления научных исследований в то время были связаны с созданием и развитием функционально и технологически сложных больших интегральных схем и средств вычислительной техники на их основе, внедрением этих схем и средств в серийного производство. На основе анализа уровня развития отечественных предприятий были сформулированы комплексные межотраслевые программы создания и применения микропроцессоров и микро-ЭВМ. В их основу заложены системные принципы и экономические целесообразные подходы к созданию микропроцессоров и микро-ЭВМ нового поколения, что нашло отражение в первых отечественных монографиях, стандартах и учебных пособиях.

В 1983 году за вклад в развитие микропроцессорной техники В.А. Шахнову в составе творческого коллектива специалистов Минэлектронпрома СССР была присуждена премия Совета Министров СССР в области науки и техники за разработку и организацию серийного выпуска отечественных микропроцессоров и микропроцессорных комплектов БИС [3].

В 1985 году Вадиму Анатольевичу была присуждена Государственная премия СССР в области науки и техники за разработку и внедрение специальной техники на базе микропроцессоров [4].

В 1989 году за успешную работу по внедрению микропроцессоров в космическую аппаратуру Федерация космонавтики СССР наградила Вадима Анатольевича Шахнова медалью им. академика М.В.Келдыша.

В 1991 году В.А. Шахнов был приглашен в МГТУ им. Н. Э. Баумана, где возглавил кафедру «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (ИУ4). В этом же году он защитил докторскую диссертацию на тему «Системное конструирование ЭВМ на больших интегральных схемах».

В области создания новых видов электронной аппаратуры и методов их проектирования под руководством Шахнова В.А. разработана ресурсосберегающая методология проектирования несущих конструкций электронной аппаратуры, работающей в условиях квазистатического и динамического нагружения. На кафедре проведены исследования и разработка активных методов управления волновыми полями. Вадим Анатольевич всегда уделял огромное внимание подготовке молодых научных кадров, постановке научно-исследовательской работы по прорывным, новым направлениям науки и техники. В 1995 году четверо молодых исследователей кафедры (В.А. Соловьев, П.Н. Горюнов, А.И. Ельников, И.В. Кормушин) стали лауреатами Государственной премии РФ в области науки и техники для молодых ученых за разработку ресурсосберегающей

методологии проектирования несущих конструкций электронной аппаратуры [5]. В 2000 году за работку теории и создание экспериментальной установки активного противодействия акустическим шумам, сотрудник кафедры, Андрей Власов был удостоен звания лауреата Государственной премии РФ в области науки и техники для молодых ученых [6].

В 1996 году Вадиму Анатольевичу за новаторскую деятельность в области образования и подготовки научных кадров Международным обществом инженерной педагогики присвоено почетное звание "Европейский инженер-педагог".

За вклад в развитие электронной техники в 1999 г. Шахнову В.А. был вручен Памятный знак «90 лет со дня рождения Александра Ивановича Шокина» Российским Агентством по системам управления.

Дальнейшее развитие исследований было сконцентрировано на создании новых видов высокоточной электромагнитной измерительной аппаратуры, за разработку которой Шахнову В.А. в 2001 году присвоено звание Лауреата премии Правительства РФ в области науки и техники [7].

В 2001 году Вадиму Анатольевичу присвоено почетное звание "Заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации" [8].

Общие принципы разработки конструкции и технологии производства современных видов электронной аппаратуры легли в основу изданного в 2002 г. и переизданного в 2005 г. базового учебника для вузов «Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры». В 2009 г. Шахнов В.А. принял активное участие в создании научно-практического и методического инновационного комплекса персонифицированной профессиональной подготовки высококвалифицированных специалистов в области информационно-телекоммуникационных технологий для образовательных учреждений высшего профессионального образования, за разработку которого коллективу ученых МГТУ им.Н.Э.Баумана присуждена премия Правительства РФ в области образования 2009 года [9].

Возглавляемая Шахновым В.А. научная школа «Конструкторско-технологическая информатика в радиоэлектронике» отмечена грантами Президента РФ в 2006, 2008, 2010, 2012 и 2014 годах.

В 2004 г. на кафедре организована первая в университете лаборатория по изучению нанотехнологий. Разработан учебно-методический комплекс подготовки специалистов "Библиотека Наноинженерии" в 17 томах. Вадим Анатольевич стоял у истоков издания периодического журнала "Наноинженерия", проведения ежегодной школы-семинара "Наноинженерия". В 2009 году при кафедре создан Научно-образовательный центр "Нанотехнологические системы и наноэлектроника", результаты разработки которого в области МЭМС сенсоров нашли широкое применение в специальной и космической технике.

Полученные Шахновым В.А. и сотрудниками кафедры результаты исследований неоднократно докладывались на Российских и международных конференциях и симпозиумах. При непосредственном участии Вадима Анатольевича ежегодно, начиная с 2000 года, проводится международная молодежная научно-техническая конференции "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы". Тесное сотрудничество с институтами РАН, с коллективами, возглавляемыми академиками С.В. Емельяновым, Ю.В. Гуляевым, А.Л. Стемпковским, способствовало повышению эффективности разработок кафедры, формированию новых научных направлений.

На базе этих результатов под научным руководством Шахнова В.А. подготовлены и защищены 16 кандидатских и 2 докторских диссертаций сотрудниками кафедры, докторантами и аспирантами. Шахнов В.А. является автором более 250 научных и учебно-методических работ (в том числе 16 учебников, учебных пособий и 7 монографий) и 12 изобретений.

За большой вклад в развитие отечественной науки и высокие научные достижения он награжден медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени (2005) и медалями «Ветеран труда» (1987), «В память 800-летия Москвы» (1997).

В 2008 г. Вадим Анатольевич Шахнов был избран членом-корреспондентом РАН. С 2010 года он является Ответственным секретарём Российского фонда фундаментальных исследований.

В 2012 г. он награждён медалью ЮНЕСКО «За вклад в развитие нанонауки и нанотехнологий». Награждение происходило в торжественной, праздничной обстановке в штаб-квартире ЮНЕСКО в Париже. Медаль вручала генеральный директор ЮНЕСКО Ирина Бокова. Были представители посольств России, Германии и США.

Вадим Анатольевич Шахнов является членом редакционных коллегий шести научно-технических журналов и трех диссертационных советов.

Главное в работе Вадима Анатольевича Шахнова - стремление готовить специалистов высокой квалификации, обладающих широкой эрудицией и лучшими качествами, продолжающих славные традиции Бауманского Университета!

Литература

1. Наш отчий дом - МГТУ им.Н.Э.Баумана - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2011. - 278 с.
2. Н.Т.Медведь Бауманцы - М.: Рекламно-полиграфический центр, 1998. - 76 с.
3. Постановление Совета Министров СССР от 16 апреля 1983 года.
4. Постановление Центрального комитета КПСС и Совета Министров СССР от 2 ноября 1985 г. (№ уд. 17734).
5. Указ Президента Российской Федерации от 20 июня 1995 года.
6. Указ Президента Российской Федерации от 6 октября 2000 года №1730.
7. Постановление Правительства Российской Федерации от 19 марта 2001 года.
8. Указ Президента Российской Федерации от 19 июля 2001 года.
9. Распоряжение Правительства России от 28 августа 2009 г. № 1246-р.

Для заметок

Для заметок