



Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники



РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ



РАДИОКОНСТРУКТОРСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ



ФАКУЛЬТЕТ
ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ



ФАКУЛЬТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ



ФАКУЛЬТЕТ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ



ГУМАНИТАРНЫЙ
ФАКУЛЬТЕТ



ФАКУЛЬТЕТ
БЕЗОПАСНОСТИ



ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ



ФАКУЛЬТЕТ
ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ



ЮРИДИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ



ЗАОЧНЫЙ И ВЕЧЕРНИЙ
ФАКУЛЬТЕТ



ФАКУЛЬТЕТ
ДИСТАНЦИОННОГО
ОБУЧЕНИЯ



**ВЫБИРАЯ БУДУЩЕЕ,
ВЫБИРАЙ TUSUR!**

634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, каб. 129 E-mail: onir@main.tusur.ru
Телефон/Факс: (3822) 900-100 Сайт: <http://tusur.ru/>

Информационный центр абитуриента: magistrant.tusur.ru

НАУЧНАЯ СЕССИЯ TUSUR–2021



МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
«НАУЧНАЯ СЕССИЯ TUSUR–2021»

г. Томск, 19–21 мая 2021 г.
(в трех частях)

ЧАСТЬ 1

г. Томск

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)»

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР–2021

Материалы
Международной научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2021»

19–21 мая 2021 г., г. Томск

В трех частях

Часть 1

В-Спектр
2021

УДК 621.37/.39+681.518 (063)

ББК 32.84я431+32.988я431

Н 34

Н 34 Научная сессия ТУСУР–2021: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 19–21 мая 2021 г.: в 3 частях. – Томск: В-Спектр, 2021. – Ч. 1. – 262 с.

ISBN 978-5-91191-459-2

ISBN 978-5-91191-460-8 (Ч. 1)

ISBN 978-5-91191-461-5 (Ч. 2)

ISBN 978-5-91191-462-2 (Ч. 3)

Материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых посвящены различным аспектам разработки, исследования и практического применения радиотехнических, телевизионных и телекоммуникационных систем и устройств, сетей электро- и радиосвязи, вопросам проектирования и технологии радиоэлектронных средств, аудиовизуальной техники, бытовой радиоэлектронной аппаратуры, а также автоматизированных систем управления и проектирования. Рассматриваются проблемы электроники СВЧ- и акустооптоэлектроники, нанопотоники, физической, плазменной, квантовой, промышленной электроники, радиотехники, информационно-измерительных приборов и устройств, распределенных информационных технологий, вычислительного интеллекта, автоматизации технологических процессов, в частности, в системах управления и проектирования, информационной безопасности и защиты информации. Представлены статьи по экономике и менеджменту, антикризисному управлению, правовым проблемам современной России, автоматизации управления в технике и образовании, а также работы, касающиеся социокультурных проблем современности, экологии, мониторинга окружающей среды и безопасности жизнедеятельности.

УДК 621.37/.39+681.518 (063)

ББК 32.84я431+32.988я431

ISBN 978-5-91191-459-2

ISBN 978-5-91191-460-8 (Ч. 1)

© Том. гос. ун-т систем управления
и радиоэлектроники, 2021

Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2021», 19–21 мая 2021 г.

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

- Рулевский В.М. – председатель Программного комитета, ректор ТУСУРа, д.т.н.;
- Лощилов А.Г. – заместитель председателя Программного комитета, проректор по научной работе и инновациям ТУСУРа, к.т.н.;
- Абдрахманова М.В., директор библиотеки ТУСУРа;
- Афонасова М.А., зав. каф. менеджмента ТУСУРа, д.э.н., проф.;
- Бабур-Карателли Г.П., к.т.н., PhD (TU Delft), научный сотрудник каф. ТОР ТУСУРа;
- Беляев Б.А., зав. лаб. электродинамики и СВЧ-электроники Ин-та физики СО РАН, д.т.н., г. Красноярск;
- Ботаева Л.Б., руководитель направления по оказанию инжиниринговых услуг, АНО «Томский региональный инжиниринговый центр», к.т.н.;
- Васильковская Н.Б., доцент каф. экономики ТУСУРа, к.э.н.;
- Голиков А.М., доцент каф. РТС ТУСУРа, к.т.н.;
- Дмитриев В.М., проф. каф. КСУП ТУСУРа, д.т.н.;
- Еханин С.Г., проф. каф. КУДР ТУСУРа, д.ф.-м.н.;
- Заболоцкий А.М., проф. каф. ТУ ТУСУРа, д.т.н.;
- Зариковская Н.В., доцент каф. АОИ ТУСУРа, к.ф.-м.н.;
- Зейниденов А.К., PhD, декан физико-технического факультета Карагандинского университета имени Е.А. Букетова, проф., г. Караганда (Казахстан);
- Исакова А.И., доцент каф. АСУ ТУСУРа, к.т.н.;
- Issakov V., professor at University Otto-von-Guericke Magdeburg, Germany;
- Caratelli D., PhD (Sapienza University of Rome), technical director of the company «The Antenna Company Nederland B.V.»;
- Карташев А.Г., проф. каф. РЭТЭМ ТУСУРа, д.б.н.;
- Карауш А.С., ген. директор Государственной публичной научно-технической библиотеки России (ГПНТБ России), к.т.н., г. Москва;
- Катаев М.Ю., проф. каф. АСУ ТУСУРа, д.т.н.;
- Ким М.Ю., зав. каф. ИСР ТУСУРа, к.и.н.;
- Кобзев Г.А., проректор по международному сотрудничеству, к.т.н.;
- Костина М.А., доцент каф. УИ, к.т.н.;
- Кошубинский В.П., зам. зав. каф. КСУП ТУСУРа, доцент каф. КСУП, к.т.н.;
- Красинский С.Л., декан ЮФ ТУСУРа, к.и.н.;
- Krozer V., professor at Goethe University, Frankfurt am Main;
- Лукин В.П., зав. лаб. когерентной и адаптивной оптики ИОА СО РАН, почетный член Американского оптического общества, д.ф.-м.н., проф., г. Томск;
- Малюк А.А., проф. отделения интеллектуальных кибернетических систем офиса образовательных программ, Институт интеллектуальных кибернетических систем НИЯУ МИФИ, к.т.н., г. Москва;
- Малютин Н.Д., г.н.с. НИИ Систем электрической связи, проф. каф. КУДР ТУСУРа, д.т.н.;
- Мелихов С.В., проф. каф. РТС, д.т.н.;
- Мишель А.А., проф. каф. АСУ ТУСУРа, д.т.н.;

- Мозгунов А.В., начальник ОНир ТУСУРа;
- Озеркин Д.В., декан РКФ ТУСУРа, к.т.н.;
- Оскирко В.О., н.с. лаборатории прикладной электроники ИСЭ СО РАН, технический директор ООО «Прикладная электроника», к.т.н.;
- Покровская Е.М., зав. каф. ИЯ ТУСУРа, к.филос.н.;
- Разинкин В.П., проф. каф. ТОР НГТУ, д.т.н., г. Новосибирск;
- Рогожников Е.В., доцент каф. ТОР ТУСУРа, к.т.н.;
- Ромашко Р.В., член-корреспондент РАН, директор ИАПУ ДВО РАН, проф. ДВФУ, д.ф.-м.н., г. Владивосток;
- Сарсикеев Е.Ж., PhD, зав. каф. «Эксплуатация электрооборудования» Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина, г. Астана (Казахстан);
- Семенов В.Д., проф. каф. ПрЭ ТУСУРа, к.т.н.;
- Семенов Э.В., проф. каф. РСС ТУСУРа, д.т.н.;
- Сенченко П.В., проректор по учебной работе ТУСУРа, доцент каф. АОИ, к.т.н.;
- Соломин С.К., зав. каф. ГП ТУСУРа, д.ю.н.;
- Суслова Т.И., декан ГФ ТУСУРа, д.ф.н., проф.;
- Титов В.С., зав. каф. вычислительной техники Юго-Западного государственного университета, д.т.н., проф., заслуженный деятель наук РФ, академик Международной академии наук ВШ, г. Курск;
- Троян П.Е., зав. каф. ФЭ ТУСУРа, д.т.н., проф.;
- Туев В.И., зав. каф. РЭТЭМ ТУСУРа, д.т.н.;
- Ходашинский И.А., проф. каф. КИБЭВС ТУСУРа, д.т.н.;
- Цветкова Н.А., доцент Высшей школы киберфизических систем и управления института компьютерных наук и технологий Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, к.т.н., г. Санкт-Петербург;
- Шарангович С.Н., проф., зав. каф. СВЧиКР ТУСУРа, к.ф.-м.н.;
- Шелупанов А.А., президент ТУСУРа, директор ИСИБ, д.т.н., проф.;
- Шостак А.С., проф. каф. КИПР ТУСУРа, д.т.н.;
- Шурыгин Ю.А., директор департамента управления и стратегического развития ТУСУРа, зав. каф. КСУП, д.т.н., проф.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

- Лоцилов А.Г. – председатель Организационного комитета, проректор по научной работе и инновациям ТУСУРа, зав. каф. КУДР, к.т.н.;
- Медовник А.В. – заместитель председателя Организационного комитета, начальник научного управления, к.т.н.;
- Боберь Ю.Н., специалист по учебно-методической работе ОАиД;
- Климов А.С., председатель Совета молодых ученых, ст. научный сотрудник лаборатории плазменной электроники каф. физики, д.т.н.;
- Коротина Т.Ю., зав. аспирантурой, ОАиД, к.т.н.;
- Покровская Е.М., зав. каф. ИЯ, доцент, к.филос.н.;
- Юрченкова Е.А., вед. инженер ОАиД, к.х.н.

СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

Секция 1. Радиотехника и связь

Подсекция 1.1. Радиотехнические системы и распространение радиоволн. Председатель секции – Мелихов Сергей Всеволодович, проф. каф. РТС, д.т.н.; зам. председателя – Аникин Алексей Сергеевич, доцент каф. РТС, к.т.н.

Подсекция 1.2. Проектирование и эксплуатация радиоэлектронных средств. Председатель секции – Шостак Аркадий Степанович, проф. каф. КИПР, д.т.н.; зам. председателя – Озёркин Денис Витальевич, декан РКФ, к.т.н.

Подсекция 1.3. Радиотехника. Председатель секции – Семенов Эдуард Валерьевич, проф. каф. РСС, д.т.н., доцент; зам. председателя – Артищев Сергей Александрович, доцент каф. КУДР, к.т.н.

Подсекция 1.4. Аудиовизуальная техника, цифровое телерадиовещание и информационный сервис. Председатель секции – Курячий Михаил Иванович, доцент каф. ТУ, к.т.н.

Подсекция 1.5. Инфокоммуникационные технологии и системы широкополосного беспроводного доступа. Председатель секции – Рогожников Евгений Васильевич, доцент каф. ТОР, к.т.н.

Подсекция 1.6. Робототехника. Председатель секции – Коцубинский Владислав Петрович, доцент каф. КСУП, к.т.н.

Подсекция 1.7. Интеллектуальные системы проектирования технических устройств. Председатель секции – Шурыгин Юрий Алексеевич, директор департамента управления и стратегического развития ТУСУРа, зав. каф. КСУП, д.т.н., проф.; зам. председателя – Черкашин Михаил Владимирович, декан ФВС, доцент каф. КСУП, к.т.н.

Секция 2. Электроника и приборостроение

Подсекция 2.1. Проектирование биомедицинских электронных и нанoeлектронных средств. Председатель секции – Еханин Сергей Георгиевич, проф. каф. КУДР, д.ф.-м.н.; зам. председателя – Романовский Михаил Николаевич, доцент каф. КУДР, к.т.н.

Подсекция 2.2. Разработка контрольно-измерительной аппаратуры. Председатель секции – Лоцилов Антон Геннадьевич, проректор по научной работе и инновациям ТУСУРа, зав. каф. КУДР, к.т.н.; зам. председателя – Бомбизов Александр Александрович, начальник СКБ «Смена», к.т.н.

Подсекция 2.3. Физическая и плазменная электроника. Председатель секции – Троян Павел Ефимович, зав. каф. ФЭ, д.т.н., проф.; зам. председателя – Смирнов Серафим Всеволодович, проф. каф. ФЭ, д.т.н.

Подсекция 2.4. Промышленная электроника. Председатель секции – Семёнов Валерий Дмитриевич, проф. каф. ПрЭ, к.т.н.; зам. председателя – Мехальченко Сергей Геннадьевич, зав. каф.

ПрЭ, д.т.н.; Оскирко Владимир Олегович, н.с. лаборатории прикладной электроники ИСЭ СО РАН, технический директор ООО «Прикладная электроника», к.т.н.

Подсекция 2.5. Оптические информационные технологии, нанофотоника и оптоэлектроника. Председатель секции – Шарангович Сергей Николаевич, проф., зав. каф. СВЧКР, к.ф.-м.н.; зам. председателя – Перин Антон Сергеевич, доцент каф. СВЧКР, к.т.н.

Подсекция 2.6. Электромагнитная совместимость. Председатель секции – Заболоцкий Александр Михайлович, проф. каф. ТУ, д.т.н.; зам. председателя – Куксенко Сергей Петрович, доцент каф. ТУ, д.т.н.

Подсекция 2.7. Светодиоды и светотехнические устройства. Председатель секции – Туев Василий Иванович, зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.; зам. председателя – Солдаткин Василий Сергеевич, доцент каф. РЭТЭМ, к.т.н.

Секция 3. Информационные технологии и системы

Подсекция 3.1. Интегрированные информационно-управляющие системы. Председатель секции – Катаев Михаил Юрьевич, проф. каф. АСУ, д.т.н.; зам. председателя – Суханов Александр Яковлевич, доцент каф. АСУ, к.т.н.

Подсекция 3.2. Распределённые информационные технологии и системы. Председатель секции – Сенченко Павел Васильевич, проректор по учебной работе ТУСУРа, доцент каф. АОИ, к.т.н.; зам. председателя – Сидоров Анатолий Анатольевич, зав. каф. АОИ, к.т.н.

Подсекция 3.3. Автоматизация управления в технике и образовании. Председатель секции – Дмитриев Вячеслав Михайлович, проф. каф. КСУП, д.т.н.; зам. председателя – Ганджа Тарас Викторович, проф. каф. КСУП, д.т.н.

Подсекция 3.4. Вычислительный интеллект. Председатель секции – Ходашинский Илья Александрович, проф. каф. КИБЭВС, д.т.н.; зам. председателя – Сарин Константин Сергеевич, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.

Подсекция 3.5. Современные библиотечные технологии. Председатель секции – Абдрахманова Марина Викторовна, директор библиотеки ТУСУРа; зам. председателя – Карауш Александр Сергеевич, генеральный директор ГПНТБ России, г. Москва, к.т.н.

Подсекция 3.6. Молодежные инновационные научные и научно-технические проекты. Председатель секции – Костина Мария Алексеевна, доцент каф. УИ, к.т.н.; зам. председателя – Нариманова Гуфана Нурлабековна, зав. каф. УИ, к.ф.-м.н.

Подсекция 3.7. Разработка программного обеспечения. Председатель секции – Зариковская Наталья Вячеславовна, доцент каф. АОИ, зам. ген. директор ООО «АльдераСофт», к.ф.-м.н.

Подсекция 3.8. Инструментальные средства поддержки автоматизированного проектирования и управления. Председатель секции – Хабибулина Надежда Юрьевна, доцент каф. КСУП, к.т.н.; зам. председателя – Потапова Евгения Андреевна, ст. преподаватель каф. КСУП.

Секция 4. Информационная безопасность

Подсекция 4.1. Методы и системы защиты информации. Информационная безопасность. Председатель секции – Шелупанов Александр Александрович, президент ТУСУРа, директор ИСИБ, д.т.н., проф.; зам. председателя – Конев Антон Александрович, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.

Подсекция 4.2. Радиоэлектронные системы передачи информации и средства их защиты. Председатель секции – Голиков Александр Михайлович, доцент каф. РТС, к.т.н.; зам. председателя – Громов Вячеслав Александрович, доцент каф. РТС, к.т.н.

Подсекция 4.3. Экономическая безопасность. Председатель секции – Кузьмина Елена Александровна, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.; зам. председателя – Колтайс Андрей Станиславович, преподаватель каф. КИБЭВС.

Секция 5. Экономика, управление, социальные и правовые проблемы современности

Подсекция 5.1. Моделирование в экономике. Председатель секции – Мицель Артур Александрович, проф. каф. АСУ, д.т.н.; зам. председателя – Грибанова Екатерина Борисовна, доцент каф. АСУ, к.т.н.

Подсекция 5.2. Информационные системы в экономике. Председатель секции – Исакова Анна Ивановна, доцент каф. АСУ, к.т.н.; зам. председателя – Григорьева Марина Викторовна, доцент каф. АСУ, к.т.н.

Подсекция 5.3. Современные методы финансового планирования. Председатель секции – Васильковская Наталья Борисовна, доцент каф. экономики, к.э.н.; зам. председателя – Цибулькикова Валерия Юрьевна, зав. каф. экономики, к.э.н.

Подсекция 5.4 Проектный менеджмент и его использование в цифровой экономике. Председатель секции – Афонасова Маргарита Алексеевна, зав. каф. менеджмента, д.э.н., проф.; зам. председателя – Богомолова Алена Владимировна, декан ЭФ, доцент каф. менеджмента, к.э.н.

Подсекция 5.5. Современные социокультурные технологии в организации работы с молодежью. Председатель секции – Суслова Татьяна Ивановна, декан ГФ, проф. каф. ФиС, д.филос.н.; зам. председателя – Орлова Вера Вениаминовна, и.о. зав. каф. ФиС, директор НОЦ «СГТ», д.соц.н.

Подсекция 5.6. Актуальные проблемы социальной работы в современном обществе. Председатель секции – Ким Максим Юрьевич, зав. каф. ИСР, к.и.н.; зам. председателя – Куренков Артем Валериевич, доцент каф. ИСР, к.и.н.

Подсекция 5.7. Правовые проблемы современной России. Председатель секции – Соломин Сергей Константинович, зав. каф. ГП, д.ю.н., доцент; зам. председателя – Газизов Родион Маратович, ст. преподаватель каф. ИП.

Секция 6. Экология и мониторинг окружающей среды. Безопасность жизнедеятельности. Председатель секции – Карташев Александр Георгиевич, проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н., проф.; зам. председателя – Денисова Татьяна Владимировна, доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.

Секция 7. Открытия. Творчество. Проекты. (Секция для школьников). Председатель секции – Мозгунов Алексей Викторович, начальник ОНиР; зам. председателя – Колесник Анастасия Викторовна, инженер ОНиР.

Секция 8. Postgraduate and Master Students' Research in Electronics and Control Systems. (Секция на английском языке). Председатель секции – Покровская Елена Михайловна, зав. каф. ИЯ, к.филос.н.; зам. председателя – Шпит Елена Ирисметовна, ст. преподаватель каф. ИЯ; Соболевская Ольга Владимировна, ст. преподаватель каф. ИЯ; Таванова Эльвира Борисовна, ст. преподаватель каф. ИЯ.

**Адрес оргкомитета:
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40,
ФГБОУ ВО «ТУСУР»
Научное управление (НУ), к. 205. Тел.: 8-(382-2) 701-524**

1 часть – 1-я секция (подсекции 1.1 – 1.7); 2-я секция (подсекции 2.1 – 2.7).

2 часть – 3-я секция (подсекции 3.1 – 3.8);

3 часть – 4-я секция (подсекция 4.1 – 4.3); 5-я секция (подсекция 5.1 – 5.7); 6-я секция.

7-я секция (для школьников) печатается отдельным сборником.

СЕКЦИЯ 1

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

(стр. 11–119)

СЕКЦИЯ 2

ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

(стр. 120–251)

СЕКЦИЯ 1

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

ПОДСЕКЦИЯ 1.1

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

*Председатель – Мелихов С.В., проф. каф. РТС, д.т.н.;
зам. председателя – Аникин А.С., доцент каф. РТС, к.т.н.*

УДК 004.722.45

ДИНАМИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ В ШИРОКОПОЛОСНЫХ МНОГОЛУЧЕВЫХ СПУТНИКАХ

Д.О. Ноздреватых, магистрант каф. РТС

Научный руководитель А.С. Аникин, доцент каф. РТС, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, rrb86@inbox.ru

Рассмотрен алгоритм динамического распределения мощности с требованиями к пользователям как к группе, а не отдельных лиц. Использована динамическая реконфигурация многолучевых спутниковых антенн в качестве метода уменьшения замираний. Алгоритм динамического распределения мощности с использованием физико-математической модели для прогнозирования ослабления в дожде предполагает минимизировать количество абонентов, не получающих желаемое качество обслуживания, решается проблема для спутниковой системы связи с геостационарным спутником, обслуживающим фиксированные наземные терминалы [2, 3].

Ключевые слова: многолучевая широкополосная спутниковая связь, затухание, ослабление, «A GREEDY APPROACH», алгоритм динамического распределения мощности.

Сети многолучевой широкополосной спутниковой связи, работающие в диапазоне Ка и выше, имеют большое значение для всемирной телекоммуникационной инфраструктуры. Эти сети обеспечивают транзитную связь, а также предназначены для предоставления прямых спутниковых услуг пользователям.

Затухание или ослабление в дожде на этих частотах является наиболее важным фактором ухудшения качества работы системы. Применяя стохастическую модель для прогнозирования ослабления в дожде и «A GREEDY APPROACH» («жадный» подход) [1] можно добиться увеличения количества обслуживаемых абонентов в сравнении со статистическим методом.

Нарастающее применение широкополосных и мультимедийных услуг из спутниковых сетей привело к использованию более высоких частотных диапазонов, таких как диапазоны Ka (20/30 ГГц), Q/V (40/50 ГГц). Сильно ухудшаются сигналы на частотах 10 ГГц и выше в тропосфере из-за атмосферных осадков (дождь, облака, туман, газы и т.д.). Это привело к необходимости разработки алгоритмов распределения мощности между лучами многолучевого спутника.

В [4] был предложен алгоритм распределения мощности для максимального увеличения пропускной способности системы. В [5] была решена проблема оптимального распределения мощности на основе различных требований трафика. Позже в [6] проблема была пересмотрена с учетом требований соглашения о качестве обслуживания и уровне обслуживания. Впоследствии в [7] был рассмотрен компромисс между максимальной общей мощностью и пропорциональной справедливостью. Было показано, что с использованием стохастической модели для прогнозирования ослабления в дожде и простого алгоритма динамического распределения мощности можно обслуживать большее количество пользователей, чем существующие статические методы. Эвристический метод оптимального распределения мощности для многолучевых спутниковых систем без учета явления распространения был предложен в [6]. В данной статье рассмотрим алгоритм динамического распределения мощности для многолучевых сетей, работающих в Ka-диапазоне и выше.

Система и модель канала. Рассмотрим сеть спутниковой связи, в которой используется спутниковая антенна с «лучами и обслуживающими» пользователями. Расположение пользовательских терминалов является фиксированным, что типично для сетей широкополосной спутниковой связи, работающих на высоких частотах [2]. Другое предположение состоит в том, что лучи не мешают друг другу; это может быть реализовано с использованием правила четырех цветов [8], где каждый цвет представляет собой полосу частот, временной интервал или набор кодов CDMA. Для обслуживания каждого спутникового приемника требуется, по крайней мере, определенный порог принимаемой мощности. Для простоты и без потери общности мы

предполагаем, что этот порог является общим для всех пользователей (учитывая одно и то же оборудование и одну и ту же услугу).

Предполагаемый алгоритм. Во-первых, для полноты и сравнения кратко описывается схема распределения статической мощности. Статическое распределение мощности подразумевает, что входная мощность лучей одинакова в любое время работы спутниковой сети и явно применима к моделям спутникового канала без ясного неба и долгосрочным осадкам. Для каждого пользователя, обслуживаемого лучом, должно выполняться условие, чтобы обеспечить надежную работу [2].

Основная концепция алгоритма заключается в том, что поскольку ослабление в дожде значительно изменяется во времени и пространстве, доступная мощность спутника должна распределяться динамически на основе мгновенного значения ослабления в дожде для каждой линии. Однако поскольку реконфигурация в реальном времени практически невозможна, цель состоит в том, чтобы динамически распределять мощность в определенные моменты времени, время реконфигурации многолучевой антенны и оставлять постоянной между двумя моментами времени реконфигурации. Более конкретно, ослабление в дожде в следующий момент времени реконфигурации прогнозируется для каждой линии связи с использованием либо информации от метеорологических спутников, как предложено в [8], либо использования синтезаторов ослабления в дожде из хорошо настроенных и параметризованных статистических дифференциальных уравнений. Для выполнения процедуры оптимизации предполагается, что прогнозируемые значения прогнозируемого ослабления в дожде постоянны между двумя последовательными периодами реконфигурации (это означает, что распределение мощности не изменяется в течение этого периода времени). Прежде чем продолжить, мы должны рассчитать общую доступную на спутнике с использованием результатов статического распределения мощность для заданного времени простоя. После расчета всех прогнозов для спутниковых каналов переходим к алгоритму оптимизации.

Результаты математического описания и моделирования. Далее предполагается разработать программный код и представить математическое описание для апробации результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ноздреватых Д.О., Аникин А.С. Методы распределения мощности усилителей передающих трактов в ретрансляторах спутниковой мобильной связи // Матер. Второй Междунар. науч. конф. ведущих научных школ в области радиолокации, навигации и радиоэлектронных систем передачи информа-

ции, Томск, 30 сентября – 1 октября 2020 г. – Томск: Изд-во Том. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2020. – С. 46–52.

2. Destounis A., Panagopoulos A.D. IEEE Dynamic Power Allocation for Broadband Multi-Beam Satellite Communication Networks // IEEE Communications Letters. – April 2011. – Vol. 15, No. 4. – P. 380–382.

3. Srivastava N.K., Chaturvedi A.K. IEEE Flexible and Dynamic Power Allocation in Broadband Multi-Beam Satellites // IEEE Communications Letters. – September 2013. – Vol. 17, No. 9. – P. 1722–1725.

4. Neely M.J., Modiano E., Rohrs C.E. Power allocation and routing in multi-beam satellites with time-varying channels // IEEE/ACM Trans. Networking. – Feb. 2003. – Vol. 11, No. 1. – P. 138–152.

5. Choi J.P., Chan V.W.S. Optimum multi-beam satellite downlink power allocation based on traffic demands // Proc. IEEE Globe-com. – 2002. – P. 2875–2881.

6. Hong Y. et al. Optimal power allocation for multiple beam satellite systems // IEEE Radio and Wireless Symposium. – 2008.

7. Park U. et al. Optimum selective beam allocation scheme for satellite network with multi-spot beams // International Conference on Advances in Satellite and Space Communications. – 2012.

9. Paraboni A. et al. Meteorology-driven optimum control of a multibeam antenna in satellite telecommunications // IEEE Trans. Ant. Propag. – 2009. – Vol. 57. – P. 508–519.

УДК 621.37

RFID МЕТКИ В СИСТЕМАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ

В.Г. Паишков, магистр

*Научный руководитель О.В. Терехин, доцент каф. 406, к.т.н.
г. Москва, МАИ, mrpaschkov@mail.ru oleg5710@mail.ru*

Рассматривается вопрос о целесообразности использования технологии RFID-меток (Radio Frequency Identification – радиочастотная идентификация) в системах идентификации, а конкретно – в системе промышленной идентификации и контроля за средствами обеспечения безопасности, и в качестве практического материала будет предложено такое технологическое решение, как задействование RFID-меток на устройствах контроля за средствами обеспечения безопасности производственных помещений.

Ключевые слова: RFID, UHF, метки, производственный контроль, идентификация, информация, безопасность.

Целью работы является теоретическое рассмотрение возможности использования технологии RFID-меток для идентификации и контроля средств обеспечения безопасности в промышленности.

В настоящее время обеспечение безопасности на производстве носит комплексный характер, выражаемый в проектировании некоторой многоуровневой системе по контролю за безопасностью. Так, согласно ГОСТ 12.1.004–91 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ)» [1] требуется применение ряда средств, таких как устройства извещения о пожаре; устройства обеспечения ограничения пожара; датчики разбития стекла и т.д. Все эти устройства проектируются в единую схему, и контроль за ней устанавливается на программном уровне. И здесь возникает вопрос: «Как быть в случае, если в системе произойдет сбой?» Проблема заключается в том, что на программном уровне владелец системы не сможет удаленно опросить прибор, добавим к этому то, что при некоторых схемах построения систем возникает такой отрицательный момент, что один неисправный прибор «отключает» от системы целый шлейф приборов. Итогом этого является отсутствие должного обеспечения безопасности в помещениях. По этой причине целесообразно производить идентификацию устройств в системе не только на программном уровне, но и сделать это физически.

Первые прототипы устройств, созданных по RFID-технологии, их особенности описаны в книге Гарри Стокмана «Communication by Means of Reflected Power» [2], где дается описание процесса взаимодействия электромагнитной волны, испускаемой передатчиком, которая индуцирует ток в антенне приемника, что, в свою очередь, запускает работу чипа, и таким образом происходит радиобмен информацией, хранящейся на RFID-метке.

Система идентификации средств обеспечения безопасности в промышленности строится на том, что каждый объект системы имеет свою уникальную RFID-метку, на которой хранится информация о данном объекте.

Цель использования технологии RFID-меток состоит в том, чтобы система контроля за безопасностью производственных помещений могла:

- 1) функционировать при частичном отключении шлейфов;
- 2) обладать возможностью внутреннего хранения отчетов о техническом состоянии устройства;
- 3) упрощать процедуры проверки состояния системы для обслуживающего её персонала.

Задачи, которые необходимо решить для применения RFID-меток в системе промышленного контроля:

- 1) энергонезависимость: необходимо достичь минимума потребления электроэнергии из сети;

2) компактность и защищенность от механических, энергетических, тепловых и иных воздействий;

3) обеспечение защищенности передачи данных.

В ходе теоретического исследования данного вопроса было получено технологическое решение (рис. 1).



Технологический вариант подразумевает включение RFID метки в одно из предложенных мест (отмеченных *). Это делается для того, чтобы решить проблему отключения устройств(-а) из системы контроля безопасности, то есть тот случай, когда неисправность одного элемента привела к частичной или полной неуправляемости всей системы.

В случае № 1 RFID метка устанавливается в узлах соединения устройств, соединяясь с общим для них интерфейсом. Это дает метке возможность регистрировать проходящие по шлейфу сигналы, передавая в память метки данные через некоторый заложенный промежуток времени.

В случаях №2 и №3 установка RFID метки производится в схему управляющего устройства, однако последнее интересно тем, что оно представляет возможность установки модуля аварийного запуска системы (подобно изображенному на схеме устройствам ручного пуска и аварийной остановки), которое будет активно при поднесении RFID считывателя.

Рис. 1. Схема системы с использованием RFID-метки

На основе вышесказанного делаем заключение о том, что при проектировании и расчете RFID-меток для применения в таких условиях и удовлетворения всех поставленных задач необходимо представить такую модель метки, которая при относительно небольших размерах будет содержать приемную антенну UHF-диапазона и схему, работающую с цифровым кодом, что даст выигрыш в энергетическом плане, защищенность передаваемых данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12.1.004–91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
2. Стокман Г. Communication by Means of Reflected Power. – 1948.

УДК 621.317.7.023

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БОРТОВЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ РАДИОМЕТРОВ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ

*Г.Г. Жук, Т. Абдирасул уулу, аспиранты;
А.В. Щегляков, Д.С. Кречетов, студенты;
А.В. Убайчин, доцент каф. РСС, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. РСС, g.g.zhuk@mail.ru*

Представлен сравнительный анализ основных технических характеристик микроволновых радиометров различных видов с точки зрения их применения в составе исследовательской аппаратуры малых беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова: бортовой микроволновый радиометр, малые беспилотные летательные аппараты, шумовые сигналы тепловой природы, флуктуационная чувствительность.

Использование микроволновых радиометров в дистанционном зондировании позволяет получать данные о состоянии окружающей среды, производить прогнозирование пожароопасных мест, получать сведения о влагозапасе почвы и т.д.

В последние годы одними из перспективных носителей средств дистанционного зондирования являются малогабаритные беспилотные летательные аппараты (МБЛА) ввиду их высокой мобильности, отсутствия необходимости использования специальной инфраструктуры (не требуют взлётно-посадочных полос, космодромов) и т.д.

Конструктивные особенности МБЛА предъявляют особые требования к массогабаритным параметрам бортовой аппаратуры. В связи с этим целью данной работы является анализ радиометрических систем различных типов с точки зрения их массогабаритных характеристик, сложности конструкции и точности результатов измерений.

Существует большое количество схемных решений микроволновых радиометров, среди которых выделяются несколько основных типов: компенсационные, модуляционные и нулевые. При проектировании радиометрических систем существует проблема избыточности модулей, входящих в состав микроволновых радиометров, в связи с чем повышаются массогабаритные показатели и энергопотребление. Избыточность модулей прежде всего связана с необходимостью повышения флуктуационной чувствительности, надежности, долговременной стабильности, устранения влияния помех и т.д.

Компенсационные радиометры являются одними из наиболее распространенных типов радиометров и обладают самой высокой потенциальной чувствительностью. Однако вследствие влияния аномальных флуктуаций параметров приемника практическая реализация компенсационных радиометров не позволяет достичь теоретической (потенциальной) чувствительности.

Компенсационные радиометры имеют два основных недостатка, которые в значительной степени влияют на точность измерений, а именно дрейф коэффициента передачи и собственных шумов измерительного тракта. Для уменьшения их влияния на результаты измерений все узлы компенсационного радиометра должны быть тщательно термостатированы, что в значительной степени увеличивает энергопотребление и массогабаритные размеры. Как следствие повышаются масса, габариты и энергопотребление системы в несколько раз, что негативно сказывается на возможности применения данного типа радиометров в составе бортовой аппаратуры на малогабаритных беспилотных летательных аппаратах [1].

Модуляционные радиометры основаны на поочередном переключении антенны и опорного генератора шума на входе радиометрического приемника. Такой способ позволяет исключить влияние изменений постоянной составляющей собственных шумов радиометра на точность результатов измерений, что является одним из главных достоинств данного типа радиометров.

За счет введения СВЧ-переключателя период одного измерения увеличивается в два раза по сравнению с компенсационным радиометром, что ухудшает потенциальную флуктуационную чувствительность [2].

Применение модуляционных радиометрических систем в составе МБПЛА ограничено тем, что входной СВЧ-блок имеет более сложную конструкцию, чем входной СВЧ-блок компенсационного радиометра, за счет добавления СВЧ-переключателя и опорного генератора шума. Помимо усложненной конструкции входного СВЧ-блока в мо-

дуляционных радиометрах, также применяют системы температурной стабилизации параметров приемника. Следует отметить, что низкочастотный блок модуляционного радиометра дополнен устройством управления, которое обеспечивает переключение модулятора и тем самым дополнительно увеличивается масса устройства. Все описанные факторы имеют значительное влияние на массогабаритные параметры модуляционных радиометрических систем [3].

Принцип работы нулевых радиометров основывается на выполнении выражения $T_{\text{оп}} - T_a = 0$ (где $T_{\text{оп}}$ – шумовая температура опорного генератора шума, T_a – эффективная температура шумов антенны) и позволяет устранить недостатки модуляционных радиометров. Отличие нулевого радиометра от модуляционного заключается в том, что различными способами (синхронным изменением усиления по высокой и низкой частотам, регулировкой опорного источника и т.д.) на выходе радиометра выравниваются сигналы в различные, равные по длительности полупериоды амплитудно-импульсной модуляции. Индикатором нулевого баланса является нулевое напряжение на выходе радиометра в оба полупериода модуляции.

В нулевых радиометрах на результат измерения не влияют основные дестабилизирующие факторы (дрейф, флуктуации собственной шумовой температуры и коэффициента усиления приемников), поэтому системы температурной стабилизации в нулевых радиометрах самые простые с точки зрения реализации. Простая реализация устройства температурной стабилизации не допускает увеличения массогабаритных показателей, что является еще одним достоинством данного типа радиометрических систем. С точки зрения реализации блока низкочастотной обработки сигналов появляются сложности, связанные с наличием дополнительных систем: компаратора, синхронного фильтра, устройства управления переключателем и генератором шума. Стоит отметить, что входной СВЧ-блок нулевых радиометров является самым сложным с точки зрения реализации микроволнового радиометра. В классической схеме ко входному СВЧ-блоку подключаются три генератора шума (антенна и два опорных генератора шума), что влечет за собой сложность реализации, увеличение стоимости и массогабаритных показателей.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что применение нулевого радиометра в составе МБПЛА было бы эффективным с точки зрения метрологических характеристик. Однако сравнительно высокие массогабаритные показатели и энергопотребление не дают возможности их эффективного применения в составе МБПЛА.

Заключение. Для снижения массогабаритных показателей и энергопотребления необходимо упростить конструкцию нулевого радиометра путем упрощения входной высокочастотной части при сохранении повышенных метрологических характеристик.

Новый радиометр, обладающий упрощенной конструкцией входного СВЧ-блока и метрологическими характеристиками соответствующими мировым аналогам, найдет широкое применение в бортовых системах дистанционного зондирования.

Работа выполнена в рамках проекта FEWM-2020-0041 Минобрнауки России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Camps A., Tarongí J.M. Microwave Radiometer Resolution Optimization Using Variable Observation Times / Published 2010. Environmental Science, Computer Science Remote. Sens.

2. Филатов А.В. Радиометрические системы нулевого метода измерений. – Томск: ТУСУР, 2007. – 276 с.

3. Убайчин А.В., Филатов А.В. Многоприемниковые микроволновые радиометрические системы на основе модифицированного метода нулевых измерений. – Томск: ТУСУР, 2014. – 154 с.

УДК 534.21, 621.396.677

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ НА АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ В РАМКАХ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

К.Д. Зайков, студент каф. РТС

Научный руководитель А.С. Аникин, доцент каф. РТС

г. Томск, ТУСУР, kiria111298@mail.ru

Приведены основные достоинства использования учебно-лабораторного комплекса в рамках учебного процесса, работающего на акустических волнах, перечислены возможные исследования на его основе и приведено сравнение теоретической и измеряемой диаграмм направленностей.

Ключевые слова: антенная решётка, акустические волны, диаграмма направленности.

Большинство существующих лабораторных стендов для исследования диаграмм направленности фазированных антенных решёток (ФАР) и работ по радиолокации выполняются в дециметровом и сантиметровом диапазоне волн [1–3]. Причём дальняя зона такой антенны будет занимать большую часть аудитории. Например, для исследования параболической антенны на частоте 10 ГГц дальняя зона начинается с 4 м [1]. Помимо этого, работа с применением электромагнитных волн является вредным для человеческого организма.

Для того чтобы исключить данные недостатки, существует возможность применения антенной системы на основе акустических волн.

Перечислим особенности применения акустических волн для исследования диаграмм направленностей и радиолокации:

1. Распространение, отражение, преломление, сложение, вычитание и другие волновые эффекты для ЭМ- и акустических волн одинаковы.

2. Затухание акустических волн так же присутствует, как и для электромагнитных колебаний. Это затухание следует учитывать при использовании как ЭМ-волн, так и акустических волн.

3. Эквивалентность пространства – времени. Скорость распространения ЭМ волн в воздухе $3 \cdot 10^8$ м/с, а скорость распространения звука в атмосфере около 343 м/с при нормальных условиях. Таким образом, объект, удалённый от акустической РЛС на 1 м, соответствует реальному объекту, удалённому на $3 \cdot 10^8 / 343 = 874,6$ км.

4. Безопасность использования. Использование акустических волн вместо электромагнитных существенно повышает его безопасность. Причём ультразвуковые излучатели имеют небольшую мощность излучения.

5. Малое расстояние дальней зоны. На частоте 40 кГц дальняя зона составляет несколько миллиметров.

На кафедре РТС имеется учебно-лабораторный комплекс «Радиолокационные станции обнаружения подвижных объектов на базе АФАР-16», антенная система которого выполнена в виде АФАР, состоящей из 16 ультразвуковых излучателей, работающих на длине волны 8,575 мм [4].

Для электромагнитных волн этого же диапазона (диапазон Ка 26,5 ГГц – 40 ТГц // 11,3–7,5 мм) представляет большой интерес и перспективу развития радиолокации, так как для этой длины волны затухание ЭМ-излучения в атмосфере минимально по отношению к соседним длинам волн, так как оно попадает в окно прозрачности.

Использование длины волны 8,5 мм позволяет смоделировать и оценить работу реальной РЛС, спроектированной на данную длину волны, оценить эффективную площадь отражения различных объектов на этой длине волны.

Данный комплекс позволяет получить практические навыки по управлению АФАР, оценить влияние различных факторов на её работоспособность (нестабильность усилителей и фазовращателей), провести наглядное моделирование при разработке адаптивных отказоустойчивых АФАР и программного обеспечения для них, а также исследования для усвоения основ радиолокации.

Формирование диаграммы направленности на основе акустических волн подчиняется тем же законам, что и диаграмма при использовании электромагнитных волн. На рис. 1 приведён пример снятой диаграммы направленности и теоретической (с учётом диаграммы излучающих элементов).

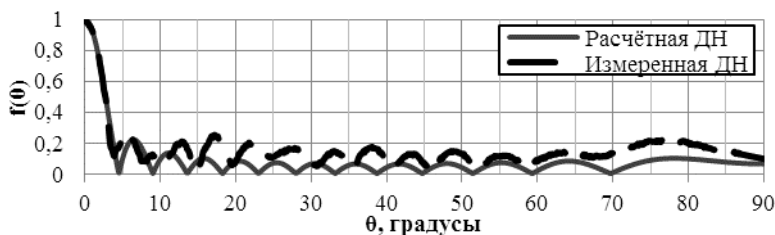


Рис. 1. Диаграмма направленности АФАР

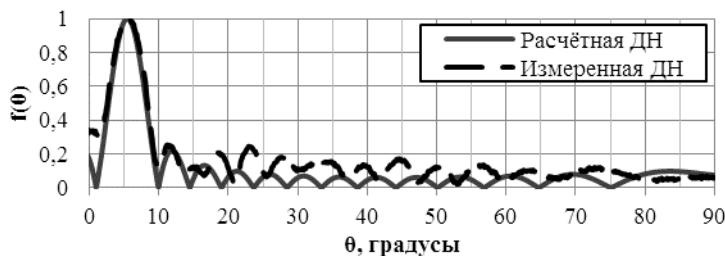


Рис. 2. Диаграмма направленности АФАР с отклонением луча

Как видно из рис. 1, диаграмма направленности совпадает с теоретической, которая создана по формулам для электромагнитных волн. На рис. 2 можем увидеть, что на диаграмму АФАР точно так же влияет амплитудно-фазовое распределение, присутствует возможность электронного сканирования луча.

Таким образом, применение учебно-лабораторного комплекса на акустических волнах:

- уменьшает рабочую зону, требуемую для качественных измерений;

- снижает пагубное влияние на здоровье обучающихся.

При этом:

- сохраняются основные принципы диаграммообразования в ФАР;
- теория по распространению радиоволн также сохраняется с учётом скорости распространения звука в атмосфере;
- появляются дополнительные возможности по освоению Ка-диапазона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование диаграммы направленности параболической антенны по измерениям поля в дальней и ближней зонах: рук-во к лаб. работе / Г.Г. Гошин, А.Н. Никифоров, А.В. Фатеев, В.А. Замотринский. – Томск: ТУСУР, 2013. – 18 с.
2. Велигоша А.В. Антенно-фидерные устройства: лаб. практикум. – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2016. – 177 с.
3. Анисимов В.Г. Направляющие системы электросвязи: методические указания к лабораторным работам. – Ульяновск: УлГТУ, 2009. – 29 с.
4. Учтех-Профи: учебно-лаб. комплекс «Радиолокационные станции обнаружения подвижных объектов на базе АФАР-16», РЛС-02-16 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://labstand.ru/catalog/radiolokatsiya/uchebno-laboratornyy-kompleks-radiolokatsionnye-stantsii-obnaruzheniya-podvizhnykh-obektov-na-baze-a>

ПОДСЕКЦИЯ 1.2

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

*Председатель – Шостак А.С., проф. каф. КИПР, д.т.н.;
зам. председателя – Озёркин Д.В., декан РКФ, к.т.н., доцент*

УДК 621.382.33; 620.169.1; 681.5.015.52

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ В СВЧ ИМС НА ОСНОВЕ БИПОЛЯРНЫХ СТРУКТУР

К.А. Петрухин, А.Ю. Колесников, студенты каф. ФЭ;

С.А. Степанов, студент каф. РТС

*Научный руководитель В.П. Пушкарев, доцент каф. РТС, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, pushkarev_vp_52@mail.ru*

Проект ГПО РТС-2003 «Разработка стенда для проведения испытаний и определения энергии активации бескорпусных СВЧ-микросхем»

Представлены результаты исследования влияния температуры на основные характеристики СВЧ БПТ 2Т3132А-5 с целью определения энергии активации. Приведены графические зависимости параметров биполярного транзистора (БПТ) в диапазоне температур: температура перехода, ток коллектора, коэффициент передачи по току до 3-го порядка: проводимости и ёмкости эмиттерного перехода, ёмкости коллектор-база, лавинные и α – нелинейности.

Ключевые слова: энергия активации, СВЧ БПТ, влияние температуры на нелинейные свойства БПТ.

Энергия активации – эмпирически определяемый параметр, характеризующий зависимость константы скорости реакции от температуры [1]. Поскольку температура является основным коэффициентом ускорения деградационных процессов, исследование влияния температуры окружающей среды на нелинейные свойства позволит определить энергию активации. В качестве предмета исследования выбран БПТ 2Т3132А-5 n - p - n -структуры [2].

Температурные зависимости параметров СВЧ БПТ представлены на рис. 1–5.

Температура перехода возрастает линейно. Ток коллектора до 30 °С практически не изменяется, а при дальнейшем увеличении температуры резко возрастает. Коэффициент передачи по току достигает предельного значения при температуре 60 °С, а затем резко убывает.

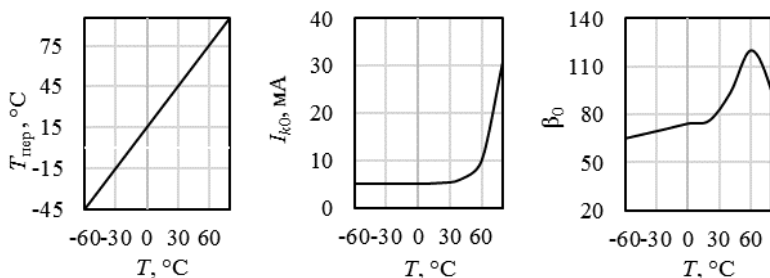


Рис. 1. Зависимости параметров: температуры перехода, тока коллектора ($I_{k0} = 5 \text{ mA}$), коэффициента передачи по току от температуры окружающей среды

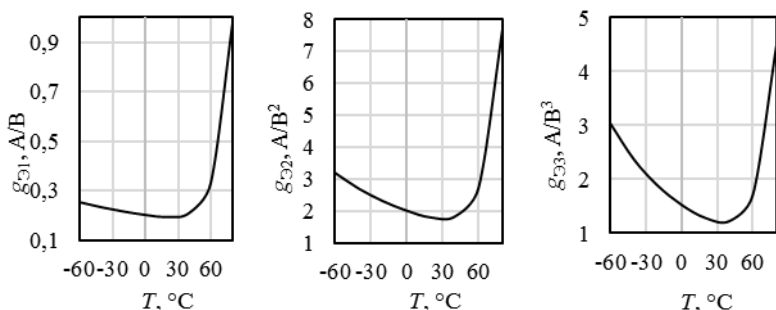


Рис. 2. Зависимости проводимости эмиттерного перехода 1, 2, 3-го порядков от температуры окружающей среды

Проводимости эмиттерного перехода уменьшаются до достижения 30°C , а после резко возрастают.

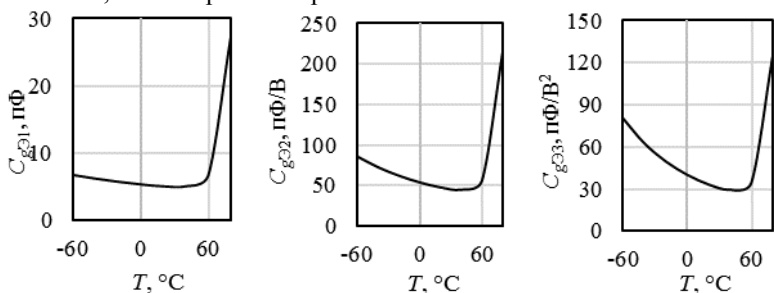


Рис. 3. Зависимости ёмкости эмиттерного перехода 1, 2, 3-го порядков от температуры окружающей среды

Ёмкости эмиттерного перехода уменьшаются до достижения 40°C , а после резко возрастают.

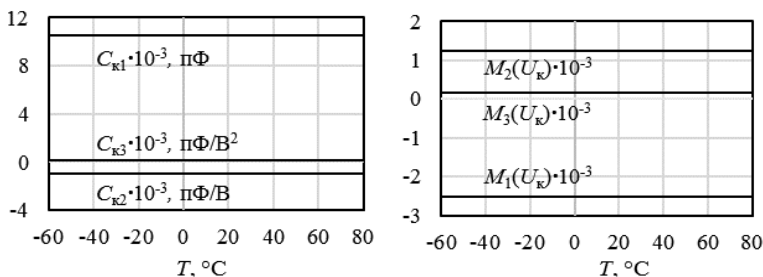


Рис. 4. Зависимости ёмкости коллектор-база 1, 2, 3-го порядков от температуры окружающей среды (слева) и зависимости лавинной нелинейности 1, 2, 3-го порядков от температуры окружающей среды (справа)

Значения ёмкостей коллектор-база и лавинных нелинейностей модели БПТ не зависят от температуры окружающей среды.

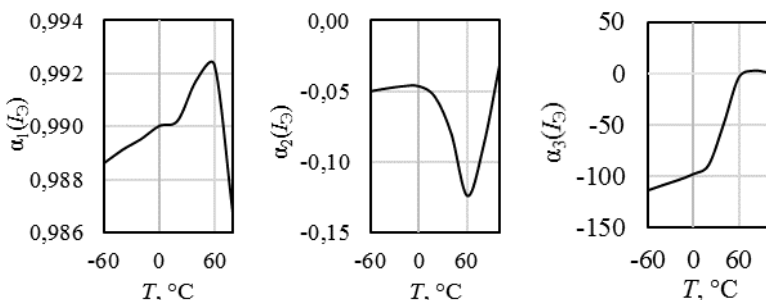


Рис. 5. Зависимости α -нелинейности 1, 2, 3-го порядков от температуры окружающей среды

Величины α -нелинейностей начинают значительно изменяться при достижении температуры 20 °C.

Результаты исследования требуют установления зависимостей влияния уровня входных воздействий в СВЧ ИМС в диапазоне температур на выходной спектр для определения надежности и энергии активации с целью построения стенда для проведения испытаний на основе анализатора спектра. Следующий этап – исследовать выходной спектр при воздействии СВЧ-сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петрухин К.А., Степанов С.А., Колесников А.Ю. Отчет по ГПО РТС-2003 «Разработка стенда для проведения испытаний и определения энергии активации бескорпусных СВЧ-микросхем». – Томск, 2020. – 33 с.
2. Петрухин К.А. Нелинейная модель биполярного СВЧ-транзистора / К.А. Петрухин, А.Ю. Колесников, С.А. Степанов. – Томск, 2021. – 4 с.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

А.А. Кабилов, студент каф. РТС

*Научный руководитель В.Ю. Куприц, доцент каф. РТС, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, zzima4871@gmail.com*

Представлен обзор системы распознавания объектов на радиолокационном изображении, в частности, разработка и применение корреляционно-экстремального метода для распознавания объектов.

Ключевые слова: корреляционно-экстремальный метод, распознавание объектов, РЛИ.

Мерой сходства двух изображений может служить коэффициент корреляции.

Для распознавания объектов с помощью корреляционно-экстремального метода в программе осуществляется корреляционная обработка фрагмента радиолокационного изображения (РЛИ) с подготовленной базой данных эталонов фигур на РЛИ [1]. В качестве изображений и эталонов используются матрицы. Для принятия решения используются два критерия:

- максимум взаимной корреляционной функции;
- количество корреляционных максимумов, превышающих заданный уровень.

Выражение для нормированного коэффициента корреляции РЛИ с эталоном представляется в виде [2]

$$K_r(k, l) = \frac{\sum_x \sum_y u_0(x, y) \cdot u(x, y)}{\left\{ \sum_x \sum_y [u_0(x, y)]^2 \sum_x \sum_y [u(x, y)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}}, \quad (1)$$

где u_0 и u – значения яркостей эталона и РЛИ.

С помощью выражения для нормированного коэффициента корреляции рассчитывается корреляционная матрица РЛИ с различными эталонами и измеряется максимум корреляционной функции, а также количество максимумов по заданному уровню, и программа принимает решение – какой объект изображён на РЛИ.

Как видно из рис. 1 и 2, взаимная корреляционная функция при сравнении совпадающих фигуры и эталона имеет более высокий уровень и большее количество максимумов. Это позволяет автоматически правильно распознать фигуру.

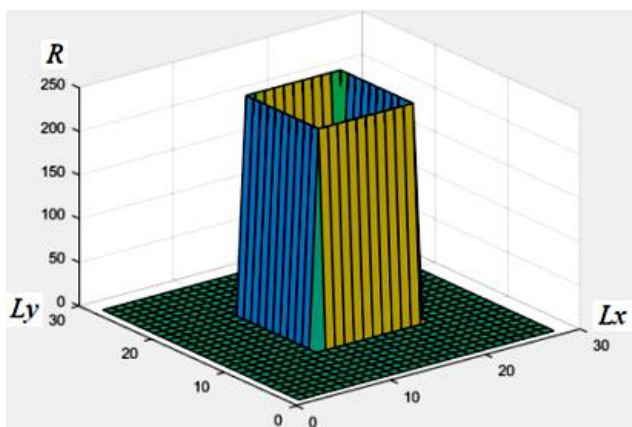


Рис. 1. Взаимная корреляционная функция РЛИ фигуры квадрата и РЛИ соответствующего эталона

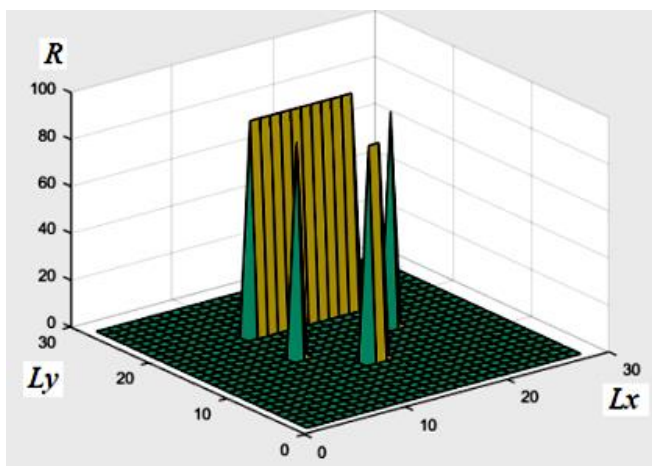


Рис. 2. Взаимная корреляционная функция РЛИ фигуры треугольника и РЛИ эталона квадрата

В табл. 1 приведены результаты моделирования автоматического распознавания фигур на РЛИ корреляционно-экстремальным алгоритмом по критерию максимума взаимной корреляционной функции.

В табл. 2 приведены результаты моделирования автоматического распознавания фигур на РЛИ корреляционно-экстремальным алгоритмом по количеству корреляционных максимумов, превышающих заданный пороговый уровень (0,65 от максимума).

Таблица 1

Результаты моделирования автоматического распознавания фигур на РЛИ корреляционно-экстремальным алгоритмом по критерию максимума взаимной корреляционной функции

РЛИ фигур	Эталоны РЛИ				
	Квадрат 11×11	Прямоугольник 10×12	Треугольник с основанием 22	Многоугольник	Цифра 5
Квадрат 11×11	250	130	91	32	85
Прямоугольник 10×12	130	250	98	46	51
Треугольник с основанием 22	91	98	250	23	58
Многоугольник	32	47	23	250	10
Цифра 5	85	51	58	10	250

Таблица 2

Результаты моделирования автоматического распознавания фигур на РЛИ корреляционно-экстремальным алгоритмом по количеству корреляционных максимумов, превышающих заданный уровень

РЛИ фигур	Эталоны РЛИ				
	Квадрат 11×11	Прямоугольник 10×12	Треугольник с основанием 22	Многоугольник	Цифра 5
Квадрат 11×11	40	0	0	0	0
Прямоугольник 10×12	0	40	0	0	0
Треугольник с основание 22	0	0	42	0	0
Многоугольник	0	0	0	26	0
Цифра 5	0	0	0	0	22

Из анализа результатов моделирования, приведенных в табл. 1, следует, что уровень взаимной корреляционной функции практически всегда выше, когда используется эталон, соответствующий распознаваемой фигуре. Аналогично в таблице 2 большее количество максимумов взаимной корреляционной функции получается при соответствии фигуры РЛИ и эталона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобков А.В. Системы распознавания образов: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. – 187 с.
2. Кирдяшкин В.В. Автоматическое совмещение радиолокационных и эталонных изображений земной поверхности: дис. ... канд. техн. наук: 05.12.14. – М., 2011. – 202 с.

ИМИТАЦИЯ GPS-СИГНАЛОВ

М.М. Кануж, аспирант каф. радиофизики

Научный руководитель А.В. Клоков, к.ф.-м.н.

г. Томск, НИ ТГУ, motayamkanouj84@stud.tsu.ru

Рассматривается методология имитации GPS-сигналов с помощью модуля ADALM-PLUTO SDR. Моделирование проводится для обработки GPS-сигналов, передаваемых устройством ADALM-PLUTO при одном сценарии движения приёмника.

Ключевые слова: GPS-имитатор, ПОР, эфемериды, псевдодальность.

Одним из применений устройств программно-определяемых радиосистем (ПОР) является GPS-имитатор. При разработке нового GPS-приёмника необходимо определить его производительность в различных условиях. GPS-имитатор дает разработчику возможность генерировать любой сценарий движения приёмника и задавать мощность сигнала. Однако GPS-имитаторы, доступные на рынках, очень дорогие. Например, цена GSG-5 составляет примерно 1 100 000 руб. [1]. Таким образом, задача имитации GPS-сигналов с помощью дешевых устройств ПОР является актуальной. В качестве имитатора GPS-сигналов в работе предлагается использовать модуль ADALM-PLUTO (цена – 18 000 руб. [2]).

Методология имитации GPS-сигналов. Следующие этапы являются основными при имитации GPS-сигнала одного спутника [3]:

- формирование амплитуды сигнала;
- формирование C/A кода;
- формирование навигационного сообщения (НС);
- моделирование сценария движения приёмника;
- расчет смещения Доплера и кодовой задержки.

Амплитуда сигнала формируется с помощью мощности, полученной на выходе антенны приёмника. Данная мощность формируется с использованием формулы передачи Фрииса [3]. C/A коды являются известными псевдослучайными последовательностями. НС состоит из кадров навигационных данных, содержащих всю информацию о спутнике [3]. Традиционно НС извлекается из эфемеридных файлов. Следует отметить, что НС спутника используется не только для расчёта его местоположения и скорости движения, но также и других параметров, таких как ионосферная задержка и ошибки спутниковых тактовых часов [3]. Сценарий движения приёмника генерируется с учётом требования разработчика. Используя координаты

i -го спутника и приемника, а также время передачи спутникового сигнала, можно рассчитать [3]: псевдодальность, смещение частоты Доплера и кодовую задержку.

Таким образом, используя все вышеуказанные этапы имитации сигнала, можно получить модулирующий сигнал, передаваемый всеми видимыми спутниками. После этого генерируется радиочастотный сигнал и передается с помощью модуля ADALM-PLUTO. На рис. 1 представлена структурная схема GPS-имитатора.

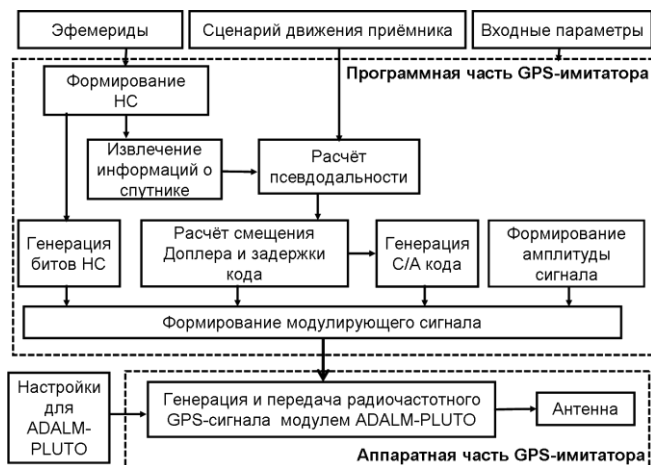


Рис. 1. Структурная схема предлагаемого GPS-имитатора

Из рисунка видно, что данный GPS-имитатор состоит из двух частей: программной и аппаратной. Программная часть включает все процедуры, необходимые для формирования модулирующего сигнала. Аппаратная часть включает в себя модуль ADALM-PLUTO, предназначенный для преобразования сигнала в высокочастотное колебание на несущей $f_L = 1575,42$ МГц и его передачи.

Результаты моделирования. Имитировался сценарий неподвижного GPS-приемника, имеющего координаты: широта – $31,25^\circ$, долгота – $131,1^\circ$ и высота – 200 м. Имитационный сигнал был принят другой системой ПОР – SDRplay RSPdx и записан в файле данных. Далее в MATLAB была проведена обработка GPS-сигнала, полученного из данного файла. На рис. 2, а показаны оценки координат приёмника и истинные координаты. Отметим, что оценки координат совпадают с истинными. На рис. 2, б представлены видимые спутники, идентифицированные при обработке данных. На рис. 3 показаны де-

модулированные биты НС спутника № 6. Из рисунка видно, что демодулированные биты совпадают с истинными.

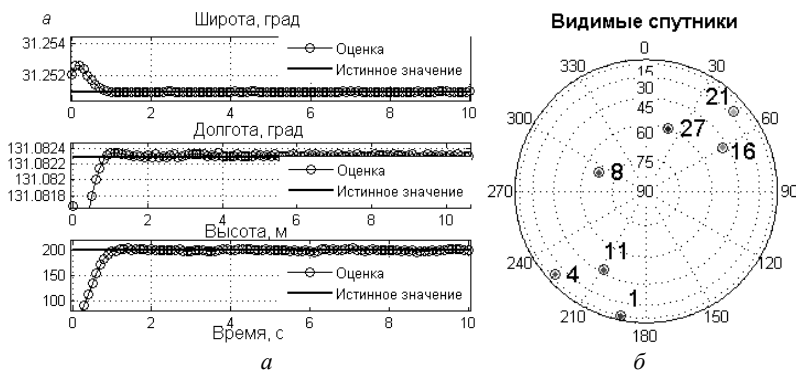


Рис. 2. Координаты приёмника – а; идентифицированные спутники – б

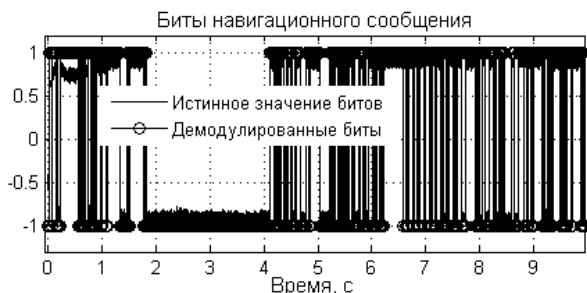


Рис. 3. Биты НС спутника № 6

Заключение. В работе показана методология имитации GPS-сигналов с помощью модуля ADALM-PLUTO SDR. Это позволяет проверить работоспособность приемника без необходимости проведения реальных экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. https://prist.ru/catalog/imitatory_signalov_gps_i_glonass_1/gsg_5. (дата обращения: 01.02.2021).
2. <https://www.chipdip.ru/product/adalm-pluto-2>. (дата обращения: 01.02.2021).
3. Kaplan E.D., Hegarty C.G. Understanding GPS: Principles and Applications 2nd ed. – London: Artech House, 2006. – 703 p.

ОБЗОР САПР ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В СРЕДЕ ГИДРОМЕТЕОРОВ

Н.Ю. Ладыгин, Д.А. Кравченко, студенты каф. КИПР

*Руководитель проекта Н.Н. Кривин, зав. каф. КИПР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, Dionis_Baralis@mail.ru*

*Проект ГПО КИПР-2001 «Использование поляризационной
структуры радиолокационных сигналов для дистанционного
зондирования метеообразований»*

Проведён обзор программных продуктов для численного электромагнитного анализа на основе методов вычислительной электродинамики. Были изучены их основные возможности, назначение и сферы использования. Выбрана САПР для моделирования процессов распространения ЭМВ в средах гидрометеоров.

Ключевые слова: моделирование электромагнитных процессов, системы автоматизированного проектирования, поляризационная структура радиолокационных сигналов, численные методы решения задач распространения радиоволн в метеосредах.

С целью обеспечения безопасности полетов воздушных судов гражданской авиации в части заблаговременного обнаружения опасных явлений погоды на протяжении воздушной трассы возникает необходимость дистанционного зондирования метеообразований посредством электромагнитных волн радиочастотного диапазона: обнаружения этих метеообразований, их идентификации, классификации и определения микрофизических свойств. Состояние поляризации радиоволн является информативным признаком, который активно используется в решении указанных задач.

Анализ процессов трансформации поляризационного состояния зондирующего сигнала, проходящего через облака гидрометеоров, существенно затрудняет сложность происходящих при этом физических процессов распространения радиоволн в метеосреде, многофакторное воздействие метеообразований на поляризационную структуру радиолокационного сигнала [1].

В данных условиях поиск решения указанных задач целесообразно проводить не с помощью полевого или натурного эксперимента, когда требуется весьма значительные финансовые, материальные и трудовые затраты, а посредством вычислительного эксперимента, когда нужны компьютер и специальное программное обеспечение для автоматизированного проектирования (САПР), с помощью которого можно производить моделирование таких сложных физических процессов.

В настоящее время существует большое количество разнообразных САПР, с помощью которых можно решать указанные выше задачи.

Для моделирования статических и динамических режимов распространения ЭМВ через разрешаемые объемы радара, в которых содержатся тысячи и десятки тысяч элементарных отражателей, главным требованием к программе является её высокая производительность. Поэтому нашей задачей является выбор из всех существующих САПР той, которая будет удовлетворять этому требованию.

Таковыми САПР являются: Ansys HFSS, Altair FEKO, MathLAB и Wolfram Mathematica.

Ansys HFSS. Достоинства Ansys HFSS заключаются в наличии встроенного языка программирования APDL (ANSYS Parametric Design Language), производстве расчетов антенных систем РЛС, наличии программного модуля HFSS-IE для решения задач при излучении и рассеянии электромагнитных волн на больших токопроводящих поверхностях. Метод расчета FI-BI способен решать задачи с многослойными структурами (которыми можно представить, к примеру, обводненный град) и напрямую вычислять функции Грина в задачах на излучение и рассеяние электромагнитных волн. К **недостаткам** данного САПР следует отнести отсутствие готовой базы данных с необходимыми геометрическими, физическими моделями и материалами [2].

Altair FEKO. К достоинствам данного САПР можно отнести наличие готовых 3D-моделей тел; эффективное описание рассеяния объекта; оптимальное сочетание численных методов решения трехмерных электродинамических задач с приближенными аналитическими методами: методом физической оптики (МФО) и методами одноуровневой теории дифракции (ОТД). Последнее позволяет значительно снизить затраты ресурсов при моделировании объектов с размерами, много большими длины волны [3]. **Недостатком** можно считать невозможность динамического изменения 3D-модели самой программой случайным образом в пределах погрешностей значений параметров.

Path Wave ADS с программным пакетом EMPro. Достоинства данного САПР заключаются в следующем: используется метод конечных элементов (FEM – Finite Element Method), метод конечных разностей во временной области (FDTD – Finite Difference Time Domainmethod); возможность анализировать объемные структуры с помощью FEM-симулятора; использование симулятора FEM (метод конечных элементов) для смешанного моделирования 2D-топологий и 3D-компонентов. **Недостатками** данного программного пакета являются: высокие требования к аппаратным средствам персонального

компьютера; ввод конструкции вплоть до каждого элемента РЭС занимает большое количество времени ввиду отсутствия графических интерфейсов [4].

MatLAB с электромагнитным симулятором **openEMS**. **Преимущество**: симулятор с открытым исходным кодом; симулятор является кроссплатформенным и работает под Linux и Windows. **Недостатком** openEMS является повышенный порог вхождения; симулятор интуитивно не понятен и без знания Matlab/Octave работать с ним невозможно.

Wolfram Mathematica. **Достоинство** состоит в наличии готовых элементарных моделей распространения радиоволн в однородной среде, создание элементарных 3D-моделей; в них можно разрабатывать программное обеспечение; имеет открытый исходный код. **Недостатки**: сложность в построении массивных и больших моделей, что может занять очень длительное время по сравнению с вышеприведенными САПР.

Для решения задач компьютерного моделирования процессов распространения радиоволн в метеоосадках нами была выбрана программа Altair FEKO, наиболее полно удовлетворяющая поставленным требованиям. Кроме того, её заказная лицензионная версия бесплатно доступна для студентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Масалов Е.В., Кривин Н.Н., Кокоулин К.В. Анализ изменчивости линейного деполяризационного отношения при радиолокационном зондировании неоднородной среды, заполненной гидрометеорами // Доклады ТУСУР. – 2018. – Т. 21, № 3. – С. 7–13. – DOI: 10.21293/1818-0442-2018-21-3-7-13.
2. Перельгин А.Б., Кобрин Ю.П. Обеспечение надежности сложных радиоэлектронных комплексов. Выбор базовой САПР // Матер. науч.-практ. конф. «Научная сессия ТУСУР». – 2016. – Т. 1. – С. 94–96.
3. Приложения AltairFeko [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.altairengineering.ru/feko-applications/>
4. KeysightEEsof EDA EMPro. Среда создания 3D-моделей и электромагнитного моделирования, интегрируемая в маршрут проектирования САПР ADS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.keysight.com/ru/ru/assets/7018-02343/brochures/5990-4819.pdf>

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ АНАЛОГОВОГО И ЦИФРОВОГО МЭМС-МИКРОФОНА

Б.И. Романов, магистрант каф. РСС

Научный руководитель Н.Д. Хатьков, доцент каф. СВЧ и КР, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, sydney@t-sk.ru

Описан принцип работы и конструктивных особенностей аналогового и цифрового МЭМС-микрофона.

Ключевые слова: МЭМС-микрофоны, аналоговые микрофоны, цифровые микрофоны, PDM.

Микрофоны – это преобразователи, которые преобразуют волны акустического давления в электрические сигналы. Датчики стали более интегрированными с другими компонентами в цепи аудиосигнала, а технология МЭМС (микроэлектромеханические системы) позволяет делать микрофоны меньше и иметь аналоговые или цифровые выходы. Очевидно, что при разработке аналоговых и цифровых выходных сигналов микрофона необходимо учитывать разные факторы. Рассмотрим различия и конструктивные особенности при интеграции аналоговых и цифровых МЭМС-микрофонов в конструкцию системы.

Выходной сигнал микрофона МЭМС не поступает напрямую от преобразователя МЭМС. Преобразователь, по сути, представляет собой переменный конденсатор с чрезвычайно высоким выходным сопротивлением в диапазоне гигаомов. Внутри корпуса микрофона сигнал преобразователя отправляется на предварительный усилитель, первой функцией которого является преобразователь импеданса, чтобы снизить выходное сопротивление до более удобного для использования, когда микрофон подключен к цепи аудиосигнала. Для аналогового микрофона МЭМС эта схема, блок-схема которой показана на рис. 1, в основном представляет собой усилитель с определенным выходным сопротивлением.

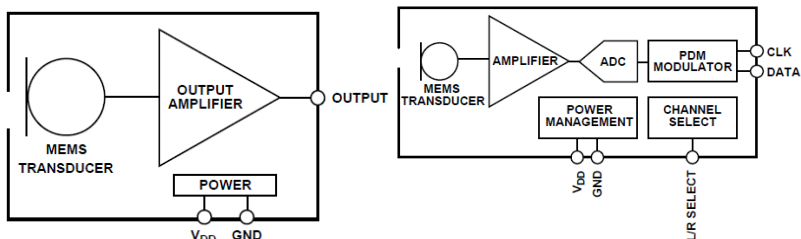


Рис. 1. Типовая блок-схема аналогового и цифрового МЭМС-микрофона

Выходное сопротивление аналогового МЭМС-микрофона обычно составляет несколько сотен ом. Это выше, чем низкий выходной импеданс, который обычно имеет операционный усилитель, поэтому нужно знать об импедансе каскада сигнальной цепи сразу после микрофона. Каскад с низким импедансом, следующий за микрофоном, ослабит уровень сигнала. Например, некоторые кодеки имеют усилитель с программируемым усилением (PGA) перед АЦП. При высоких настройках усиления входное сопротивление PGA может составлять всего пару кОм. PGA с входным сопротивлением 2 кОм после микрофона МЭМС с выходным импедансом 200 Ом ослабит уровень сигнала почти на 10%.

Последовательный конденсатор необходимо выбирать так, чтобы схема фильтра верхних частот, сформированная с помощью входного сопротивления кодека или усилителя, не ослабляла низкие частоты сигнала выше естественного спада низких частот микрофона. Для микрофона с низкой частотой 100 Гц – точка -3 дБ и кодека или усилителя с входным сопротивлением 10 кОм (оба общие значения), даже относительно небольшой конденсатор 1,0 мкФ выводит угол фильтра верхних частот на 16 Гц диапазона, в котором это повлияет на реакцию микрофона. На рис. 2 показан пример такой схемы с аналоговым микрофоном МЭМС, подключенным к операционному усилителю в неинвертирующей конфигурации.

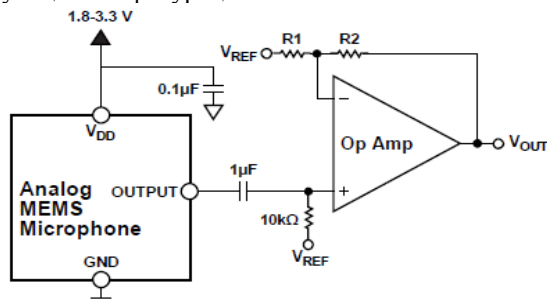


Рис. 2. Подключение аналогового микрофона к цепи неинвертирующего ОУ

Цифровые микрофоны переносят функцию аналого-цифрового преобразования с кодека на микрофон, обеспечивая полный цифровой путь захвата звука от микрофона к процессору. Конечно, к тактовым сигналам и сигналам данных цифрового микрофона по-прежнему следует применять передовые методы цифрового проектирования. Терминаторные резисторы небольшого номинала (от 20 до 100 Ом) часто полезны для обеспечения хорошей целостности цифрового сигнала на дорожках, длина которых часто составляет не менее нескольких сантиметров (рис. 3).

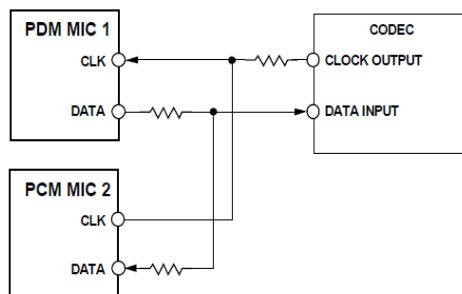


Рис. 3. Подключение микрофона PDM к кодеку с оконечной нагрузкой источника

Как правило, аналоговые микрофоны MEMS доступны в меньших размерах, чем цифровые микрофоны. Это связано с тем, что корпусу аналогового микрофона требуется меньше контактов (обычно три, а у цифрового микрофона пять или больше), а аналоговый предусилитель имеет меньше схем, чем цифровой предусилитель. Аналоговый микрофон может быть в корпусе с размерами $2,5 \times 3,35 \times 0,88$ мм или меньше, тогда как микрофоны PDM часто поставляются в корпусе $3 \times 4 \times 1$ мм, что на 62% больше по объему корпуса.

Выводы. И аналоговые, и цифровые МЭМС-микрофоны имеют преимущества в различных приложениях. Учитывая размер системы и ограничения по размещению компонентов, электрические соединения и потенциальные источники шума и помех, можно будет принять хорошо обоснованное решение о том, какой тип микрофона лучше всего подходит для конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Czarny J., Walther A., Desloges B. et al. New architecture of MEMS microphone for enhanced performances // in 2013 International Semiconductor Conference Dresden. – Grenoble (ISCDG), September 2013.
2. Kon S., Oldham K., Horowitz R. Piezoresistive and piezoelectric MEMS strain sensors for vibration detection // Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems – 2007. – Vancouver, Canada, April 2007.
3. Manz J., Dehe A., Schrag G. Modeling high signal-to-noise ratio in a novel silicon MEMS microphone with comb readout // Smart Sensors, Actuators, and MEMS VIII. – Barcelona, Spain, May 2017.
4. Lhermet H., Verdout T., Berthelot A., Desloges B., Souchon F. First microphones based on an in-plane deflecting micro-diaphragm and piezoresistive nano-gauges // in 2018 IEEE Micro Electro Mechanical Systems (MEMS). – Belfast, UK, January 2018. – P. 249–252,

**ПОИСК ФОРМЫ ЭФФЕКТИВНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ
СОДЕРЖАНИЯ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН СПЕЦИАЛЬНОСТИ
«ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО
РАДИООБОРУДОВАНИЯ»**

Е.М. Сорокина, М.М. Сабыр, студенты каф. КИПР

Научный руководитель Н.Н. Кривин, и.о. зав. каф. КИПР, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, eva-sorokina@inbox.ru, madina.kiz@mail.ru

Проект ГПО КИПР-2002. Разработка практико-ориентирующих учебно-методических комплексов по дисциплинам специальности «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования»

Проект направлен на обеспечение студентов учебными изданиями на языке, адаптированном для лучшего понимания предметной области дисциплины. В ходе проекта производится разработка учебно-методических пособий в доступном для понимания студентов стиле изложения по дисциплинам «Радиотехнические цепи и сигналы» (РТЦиС) и «Радиоматериалы и радиокомпоненты» (РиР), обеспечивающих базу знаний будущих инженеров по специальности «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» (ТЭТРО). В содержании данных учебных изданий основное внимание будет уделено разбору примеров конкретного употребления абстрактных теоретических понятий указанных дисциплин.

Ключевые слова: учебное пособие, научно-популярный стиль, радиотехнические цепи, радиотехнические сигналы, радиоматериалы, радиокомпоненты.

Учитывая тенденции усложнения объектов и процессов современной науки и техники, темой проекта была выбрана разработка учебных изданий по техническим дисциплинам в научно-популярном стиле изложения. Целью проекта является создание учебно-методических пособий, адаптирующих существующие учебники по дисциплинам РТЦиС и РиР под студенческий уровень понимания. Актуальность проекта заключается в возможности эффективно представить содержание данных технических дисциплин благодаря опыту участников проекта, изучивших эти дисциплины ранее, и диалогу с младшими курсами.

Большинство трудностей при изучении учебной литературы по РТЦиС и РиР у студентов возникает из-за абстрактности и ненаглядности излагаемых в ней знаний. Между абстракцией и её пониманием в данном случае стоит некоторое количество конкретных примеров, достаточных для представления её в наглядной форме [1].

Поскольку РТЦиС и РиР являются теоретической основой для остальных дисциплин специальности, качество их освоения сильно влияет как на дальнейший процесс обучения, так и на компетентность будущих инженеров. При этом нужно иметь в виду, что учебный процесс состоит из аудиторных занятий и самостоятельной работы студентов, от выполнения которой успешность освоения материала зависит в той же мере, что и от аудиторной работы. Поэтому разрабатываемое учебное издание должно учитывать особенности аудиторной и самостоятельной работы студентов.

Среди обучающихся специальности ТЭТРО был проведён опрос с целью выявления проблемных моментов при изучении этих дисциплин. Анализ результатов опроса показал, что основные трудности возникают при выполнении практических, индивидуальных, лабораторных заданий. Причиной этого чаще всего становится непонятный материал лекций или существующих учебников, абстрактность понятий, слабая база знаний самого студента.

Для дальнейшего продвижения проекта необходимо было овладеть основными навыками работы с текстом, проанализировать существующие методики обучения и упрощения материала лекций и отобрать учебники-прототипы; также было проведено сравнение разных способов подачи учебной информации, что позволило определить их основные различия и выявить наиболее подходящие приемы подачи информации [1–9].

Анализ литературы по психологии обучения [2–4] показал, что одним из способов упрощения процесса восприятия абстрактной информации человеком является использование контекстной графики или образов, графически выражающих сложные понятия, поскольку в таком случае у читателя возникает меньше затруднений при изучении сложной темы.

Для улучшения качества усвоения материала дисциплин РТЦиС и РиР может быть использована методика Шаталова [4], адаптированная для студентов вуза. Особенность методики заключается в сжатии блока материала до краткого конспекта-схемы, который объясняется несколько раз, что позволяет избежать пробелов в понимании лекции после первого прочтения. Проверка знаний по Шаталову осуществляется в двух вариантах: воссоздание конспекта-схемы по памяти и ответ у доски. При адаптации данной методики для студентов вуза не предполагается полного исключения проверки самостоятельной работы студентов. В данном случае необходимо проверять понимание материала, а конспект-схема может представлять полное описание предметной области дисциплин РТЦиС и РиР.

Один из вариантов адаптации данной методики может включать практические задания, упражнения, контрольные вопросы в учебно-методическом пособии для самостоятельной работы студентов, а также конспект-схему предметных областей РТЦиС и РиР для формирования и закрепления связей блоков информации внутри дисциплины.

В процессе обучения не менее важное знание имеют образы и примеры. В методике обучения Джули Дирксен [2] описываются ключевые принципы работы памяти и внимания, необходимые для создания обучающих материалов. Такие приемы должны помочь аудитории не только усвоить, но и хорошо закрепить новые умения и навыки.

В процессе выполнения проекта его участники получили ценный опыт редакторской деятельности, контент-анализа, а также навыки работы с текстом и элементами графического дизайна, инфографики. Результатами проделанной работы являются сформированные содержания учебно-методических пособий, а также адаптация методик Шаталова и ее совместное использование с методикой Дирксен, полученные навыки обработки информации. В перспективе планируется создание конспект-схем предметных областей дисциплин РТЦиС и РиР и адаптация имеющихся учебных пособий [6–7] для более эффективной работы студентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колесниченко А.В. Практическая журналистика. 15 мастер-классов: учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Аспект Пресс, 2014. – С. 22.
2. Дирксен Дж. Искусство обучать: как сделать любое обучение нескудным и эффективным / пер. с англ. О. Долговой. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. – С. 18–65, 71–86, 121–133, 137–138, 172, 191, 233–234, 239–253.
3. Уэйншкен С. 100 главных принципов дизайна. – СПб.: Питер, 2012. – С. 17–19, 34–35, 45–49, 54–59, 62–68, 78–82, 95–106.
4. Шаталов В.Ф. Точка опоры. – М.: Педагогика, 1987. – 160 с.
5. Ярская-Смирнова Е. Создание академического текста: учеб. пособие для студентов и преподавателей вузов. – М.: ООО «Вариант»: ЦСПГИ, 2013. – С. 8–16, 21–56.
6. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – 3-е изд. – М.: Высшая школа, 2000. – С. 11–16, 43–51, 61–65, 72–87, 307–315, 333–343.
7. Петров К.С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и радиоэлектроника. – СПб.: Питер, 2003. – С. 22–29, 41, 111–123, 126–133, 138, 152, 208, 272–275, 284–289.
8. Мак-Комб Г., Бойсен Э. Радиоэлектроника для чайников. – М.: ИД Вильямс, 2015. – 400 с.
9. Мюллер Д.П., Массарон Л. Искусственный интеллект для чайников. – СПб.: ООО «Диалектика», 2019. – 384 с.

ОСОБЕННОСТИ КАЛИБРОВКИ ЦИФРОВЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

А.О. Стакозов, студент МАИ

*Научный руководитель В.С. Темченко, проф. каф. 406 МАИ, д.т.н.
г. Москва, МАИ, stakozov990@mail.ru*

Рассмотрены некоторые особенности калибровки цифровых антенных решеток на передачу. Описывается метод разделения сигналов, разработанный для традиционных систем, и предлагается его использование в цифровых решетках.

Ключевые слова: фазированная антенная решетка, калибровка, цифровая передающая решетка, фазовращатель, разделение сигналов.

Теория антенн определяет фазированную решетку как решетку из излучателей, в которой относительные фазы соответствующих сигналов, питающих антенны, выставлены таким образом, что поле излучения сфокусировано в желаемом направлении и подавлено в нежелательном. Эти относительные фазы могут быть либо фиксированными, либо корректируемыми, что позволяет электронно управлять направлением луча. Такой тип антенных решеток называется решеткой с электронным сканированием.

Одной из тенденций развития радиолокационных систем является постепенный переход к цифровым фазированным антенным решеткам, в которых принятые сигналы преобразовываются в цифровую форму на уровне элементарных каналов, а затем обрабатываются в отдельном процессоре для формирования требуемой диаграммы направленности антенны.

Такой подход позволяет сохранить полную информацию о сигналах каждого канала решетки, в отличие от аналогового способа формирования ДН, который позволяет получить лишь взвешенную сумму этих сигналов. Гибкость способа цифровой обработки сигналов обеспечивает ряд достоинств, которые не доступны обычным решеткам.

Из-за различий в производстве радиокомпонентов, каналы ФАР неидентичны по фазе и амплитуде. Эту неидентичность необходимо компенсировать, определив характеристики каналов. Процедуру определения характеристик отдельных каналов принято называть калибровкой. Обычно при калибровке определяют такие характеристики, как начальные комплексные коэффициенты передачи (КП) каналов, определенные для ситуации, когда управляемый сдвиг фазы и аттенуация «сброшены» в ноль.

Основной интерес представляют «бесконтактные» методы калибровки, когда характеристики каналов определяются по результатам измерения суммарного поля антенны в ближней или дальней зоне при установке фазовращателей в различные состояния. При этом калибровка цифровой антенны проще, чем аналоговой, так как можно гибко и точно управлять коэффициентом передачи, причем не только его фазой, но и амплитудой [1].

При калибровке приемной цифровой антенны достаточно «засветить» контрольным сигналом её полотно, что позволит сразу получить полную информацию о каждом канале решетки. Отличие калибровки передающей антенны заключается в необходимости выделения сигналов отдельных каналов из суммарного, так как на выходе антенны сигналы суммируются в эфире. Цифровая передающая решетка может быть откалибрована методами, разработанными для аналоговых систем [2, 3], но при таком подходе теряется возможность использования при калибровке особенностей цифровой обработки для сокращения количества измерений.

Для разделения сигналов разработаны различные методы манипуляции сигналами каналов. Один из таких методов, предложенный для традиционных систем, описан в [4]. Для выделения сигнала измеряемого канала проводятся два измерения суммарного поля антенны, отличающихся тем, что фаза измеряемого канала инвертируется. Принцип работы алгоритма показан на рис. 1, где изображена решетка из десяти элементов.

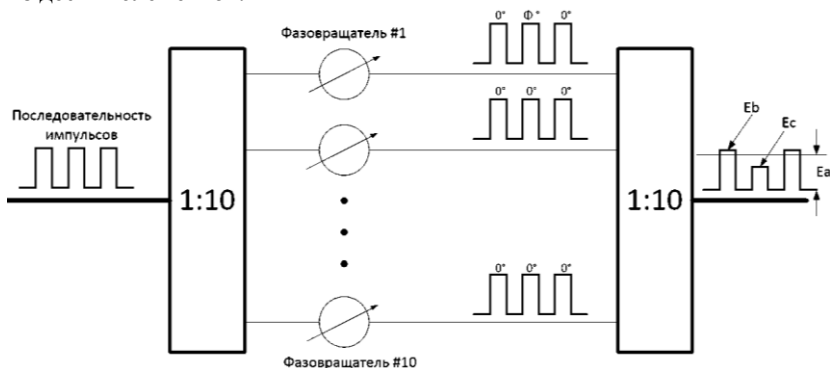


Рис. 1. Принцип работы алгоритма

На рисунке показано, что последовательность импульсов приходит на делитель мощности 1:10 и дальше сигнал подается на каждый канал. На выходе результирующий вектор первого импульса представляет собой $E_b = E_1 + E_a$, где E_1 – вектор первого импульса тести-

руемого канала, а E_a – сумма векторов всех остальных девяти каналов. Во втором импульсе фазовращатель первого канала переводится в другое состояние. Фазовращатели остальных девяти каналов остаются в прежнем состоянии. На выходе результирующий вектор будет представлять собой $E_c = E_2 + E_a$, где E_2 – вектор тестируемого канала. Стоит отметить, что $E_2 = E_1 * e^{j\varphi}$. Таким образом, разность E_b и E_c даст $E_1 - E_2 = E_1 * (1 - e^{j\varphi})$. Видно, что сигнал E_a был аннулирован. В том случае, когда сдвиг фазы тестируемого канала между импульсами составляет 180 градусов, $E_b = 2 * E_1$, что может быть использовано для определения сигнала E_1 . Описанный метод может быть последовательно применен к каждому каналу решетки для определения начальной амплитуды и фазы каждого из них.

В настоящей работе предлагается адаптировать описанный метод для цифровой решетки. В цифровой антенне того же эффекта можно достичь, инвертировав фазу в модулирующей последовательности комплексных чисел, передаваемой на ЦАП выбранного канала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев Л.Н. Цифровое формирование диаграммы направленности в фазированных антенных решетках. – М.: Радиотехника, 2010.
2. Chiba I., Kumagai N., Yonezawa R., Hariu Ken-ichi, Morita N. Phased array antenna calibration method in operating condition – rev method // Mitsubishi Electric Corporation, Japan.
3. Коротецкий Е.В., Шитиков А.М., Денисенко В.В. Методы калибровки фазированных антенных решеток // Радиолокация и связь. – 2013. – № 15. – С. 95–98.
4. Kuan-Min Lee, Ruey-Shi Chu, and Sien-Chang Liu. A Built-In Performance-Monitoring/Fault Isolation and Correction (PM/FIC) System for Active Phased-Array Antennas // IEEE. Transactions on antennas and propagation. – November 1993. – Vol. 41, No. 11.

УДК 378.14

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОСЕТИ

В.И. Вебер, студент каф. РТС

*Научный руководитель В.Ю. Куприц, доцент каф. РТС, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, vladweber00@gmail.com*

Рассматривается алгоритм работы сверточной нейросети, её структура, также приведены результаты тестирования нейросети на смоделированных радиолокационных изображениях.

Ключевые слова: распознавание, сверточная нейросеть, радиолокационное изображение.

С развитием систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), в том числе радиолокационной техники, и тенденцией роста разрешающей способности оперативное и достоверное распознавание изображений становится все более актуальной задачей. В настоящее время проблема распознавания изображений для некоторых прикладных задач до сих пор не решена [1].

Алгоритм распознавания объектов. В качестве алгоритма распознавания МЦ на РЛИ по результатам проведенного анализа в ходе выполнения работы был выбран алгоритм распознавания с помощью сверточной нейросети

Структура алгоритма. Структура алгоритма распознавания объектов на РЛИ, изображенных в виде цифр, на основе сверточной нейронной сети показана на рис. 1.



Рис. 1. Структура сверточной нейросети

Работа сверточной нейросети начинается со свертки входного изображения с ядрами свертки, получая карты признаков. Каждая карта признаков является результатом свертки с помощью различного набора весов ядра и различного смещения.

Формула свертки должна показывать «движение» ядра w^l по входному изображению или карте признаков y^{l-1} [2].

$$x_{ij}^l = \sum_{a=-\infty}^{+\infty} \sum_{b=-\infty}^{+\infty} w_{ab}^l \cdot y_{(i-s-a)(j-s-b)}^{l-1} + b^l \quad \forall i \in (0, \dots, N) \quad \forall j \in (0, \dots, M).$$

Здесь подстрочные индексы $i = 28, j = 28, a = 5, b = 5$ – это индексы элементов в матрицах, а $s = 1 \times 1$ – величина шага свертки (stride).

Надстрочные индексы l и $l-1$ – это индексы слоев сети; x^{l-1} – выход какой-то предыдущей функции либо входное изображение сети; y^{l-1} – это x^{l-1} после прохождения функции активации (например, relu или сигмоида); w^l – ядро свертки; b^l – bias или смещение; x^l – результат операции конволюции. То есть операции проходят отдельно для

каждого элемента ij матрицы x^l , размерность которой (N, M) , $N = 28$, $M = 28$.

Функция f_{ReLU} выполняет пороговую операцию к каждому элементу входа, где любое значение меньше, чем ноль, обнуляется [2]:

$$f_{ReLU} = \max(0, x).$$

Пулинг (от англ. Pooling – объединение) выполняет субдискретизацию путем деления входа на прямоугольные области объединения и вычисления максимума каждой области.

Формула для полносвязного слоя (fully connected) выглядит следующим образом [3]:

$$x_i^l = \sum_{k=0}^m w_{ki}^l y_k^{l-1} + b_i^l \quad \forall i \in (0, \dots, n),$$

где $m = 2880$ – количество весовых значений для каждого выходного нейрона; $i = 10$ – количество выходных нейронов.

Функция $f_{softmax}$ – это обобщение логистической функции для многомерного случая, которая преобразует входные значения в диапазоне от 0 до 1 [3]:

$$f_{softmax} = y_i^l = f(x_i^l) = \frac{e^{x_i^l}}{\sum_{k=0}^n e^{x_k^l}}.$$

Для типичных сетей классификации слой классификации должен следовать за softmax слоем. В слое классификации есть функция, оценивающая качество работы всей модели. Функция потерь находится в самом конце, после всех слоев сети. Выглядеть она может так [3]:

$$E = \sum_{i=0}^n \frac{1}{2} (y_i^{\text{truth}} - y_i^l)^2,$$

где n – это количество классов; y^l – выход модели; y^{truth} – правильные ответы. Затем автоматически ищется минимум функции потерь с помощью метода градиентного спуска.

Было произведено моделирование однослойной и двуслойной сверточных нейросетей. Обучалась СНС на базе данных рукописных цифр, которая содержит 10 000 цифр, из них 8 000 для обучения, 2 000 для тестирования. Результаты валидации представлены на рис. 2.

Затем задача распознавания было усложнена и были смоделированы радиолокационные изображения цифр, изображенных на рис. 3.

Результаты распознавания различных фигур РЛИ показаны в таблице.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	100	1	0	0	0	0	0	0	1	0
2	0	98	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	93	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	2	100	0	1	0	0	1	0
5	0	0	2	0	100	0	0	1	1	0
6	0	0	0	0	0	99	0	0	0	0
7	0	0	1	0	0	0	100	0	1	0
8	0	1	0	0	0	0	0	99	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	96	0
10	0	0	2	0	0	0	0	0	0	100

а

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	100	0	0	0	0	0	1	1	0	0
2	0	93	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	2	100	0	0	0	0	0	0	0
4	0	1	0	99	1	0	0	0	0	0
5	0	1	0	0	99	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	98	0	0	0
8	0	2	0	0	0	0	0	99	0	0
9	0	1	0	1	0	0	1	0	100	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100

б

Рис. 2. Результаты моделирования валидации рассмотренных выше двух моделей СНС: *а* – однослойная СНС; *б* – двуслойная СНС

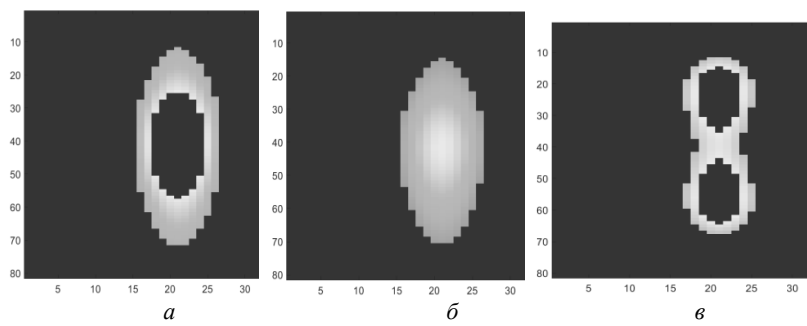


Рис. 3. Примеры реализации фигур (цифр) на РЛИ:
а – реализация фигуры 0; *б* – реализация фигуры 1; *в* – реализация фигуры 8

Результаты распознавания различных фигур РЛИ

Наименование	Фигура 0	Фигура 1	Фигура 8
СНС с одним сверточным слоем	Ответ 0	Ответ 1	Ответ 8
СНС с двумя слоями свертки	Ответ 8	Ответ 8	Ответ 8

Анализ предварительных результатов моделирования распознавания фигур РЛИ различными вариантами нейросетей показал, что лучше всех распознала СНС с одним сверточным слоем. Двуслойная СНС показала результаты хуже. Ошибка, возникшая в двуслойной сверточной нейросети, вероятнее всего, связана с тем, что смоделированные изображения очень сильно отличаются от тех, на которых производилось обучение, из-за большего числа сверток выделяется большее число признаков, и в этом случае это пагубно сказывается на распознавании. Для принятия окончательного решения, какая из сетей обладает большим потенциалом по распознаванию, нужно провести

дополнительные исследования путем моделирования различных структур нейросетей с привлечением других баз изображений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Школьный Л.А. и др. Радиолокационные системы воздушной разведки, дешифрирование радиолокационных изображений: учеб. для курсантов ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского / под ред. Л.А. Школьного. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008. – 531 с.

2. Наглядное введение в нейросети на примере распознавания цифр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pvsm.ru/python/270162/print/> (дата обращения: 15.01.2021).

3. Сверточная сеть на python. – Ч. 1. Определение основных параметров модели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://proglab.io/p/neural-network-course> (дата обращения: 15.01.2021).

ПОДСЕКЦИЯ 1.3

РАДИОТЕХНИКА

*Председатель – Семенов Э.В., проф. каф. РЗИ, д.т.н., доцент;
зам. председателя – Артюшев С.А., доцент каф. КУДР, к.т.н.*

УДК 621.372.62

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЛИТЕЛЯ-СУММАТОРА НА 5 КАНАЛОВ L-ДИАПАЗОНА

Н.И. Гоголев, студент каф. ТОР

*Научный руководитель В.Д. Дмитриев, к.т.н., доцент каф. ТОР
г. Томск, ТУСУР, dvd51@mail.ru*

Рассмотрено моделирование делителя-сумматора на 5 каналов L-диапазона, в исполнении на микрополосковых линиях передачи, для дальнейшего использования в связке с усилителями мощности, работающими на аналогичном с делителем диапазоне частот.

Ключевые слова: делитель-сумматор, микрополосковая линия передачи, L-диапазон, коэффициент передачи.

Делитель мощности осуществляет разделение потока мощности электрического колебания, поступающего на входное плечо, между несколькими выходными плечами и объединяет такие потоки мощности с нескольких входов в одном выходе [1].

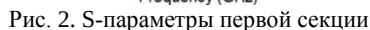
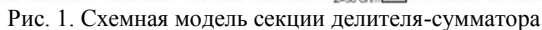
Задачей данной работы было моделирование делителя-сумматора на 5 каналов в диапазоне частот 1–1,6 ГГц, значения коэффициентов передачи которого должны лежать в диапазоне от –7 до –7,5 дБ.

На основе микрополосковых линий передачи, толщина подложки которых равна $H = 0,762$ мм, а диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 3,66$, была смоделирована первая секция делителя-сумматора (рис. 1) и рассчитаны коэффициенты передачи данной секции (рис. 2) [2]. Моделирование проводилось в программном пакете AWR Design Environment 12.

После на основе первой секции, были смоделированы оставшиеся секции (рис. 3), а также произведен расчет коэффициентов передачи данной модели (рис. 4).

По результатам моделирования можно сделать вывод о том, что коэффициенты передачи данного делителя-сумматора на 5 каналов,

50



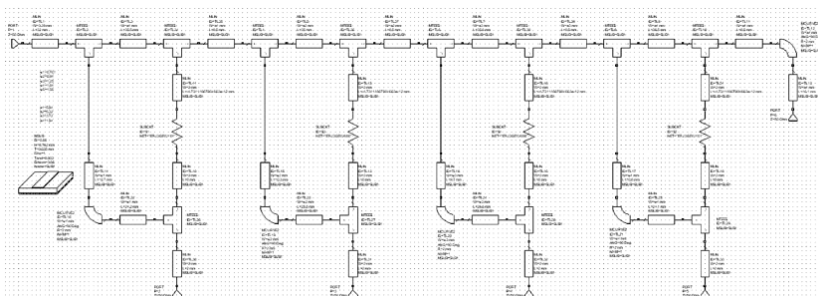


Рис. 3. Схемная модель делителя-сумматора на 5 каналов

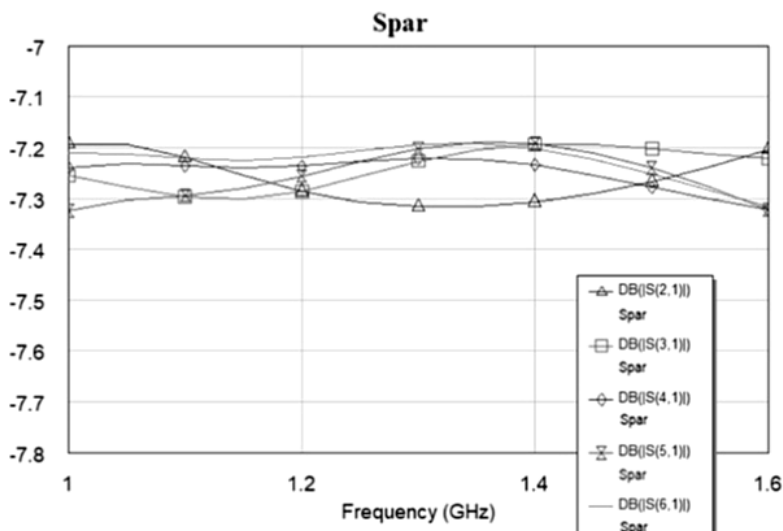


Рис. 4. S-параметры делителя-сумматора на 5 каналов

ЛИТЕРАТУРА

1. Устройства сложения и распределения мощностей высокочастотных колебаний [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.studmed.ru/model-zi-ustroystva-slozheniya-i-raspredeleniya-moschnostey-vysokochastotnyh-kolebaniy_807f3342ebf.html, свободный (дата обращения: 15.02.2021).
2. Микроэлектронные устройства СВЧ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.studmed.ru/veselov-gi-egorov-en-alehin-yun-i-dr-mikro-elektronnye-ustroystva-svch_89844c6d936.html, свободный (дата обращения: 03.03.2021).

**ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ
РЕФЛЕКТОМЕТРИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В КАБЕЛЬНЫХ СЕТЯХ
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

В.С. Вторых, студент каф. РСС;

А.А. Городилов, аспирант каф. КУДР

Научный руководитель Э.В. Семёнов, проф. каф. РСС, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, edwardsemyonov@narod.ru

Рассмотрена возможность использования метода нелинейной рефлектотметрии для контроля качества контактных соединений в бортовых кабельных сетях космических аппаратов. Составлена модель некачественного контакта. Проанализирована его вольт-амперная характеристика.

Ключевые слова: модель контакта, рефлектотграмма, контроль качества, факторы надежности.

Космический аппарат (КА) состоит из множества сложных технических систем. Для электрической связи бортовой аппаратуры, агрегатов и узлов служит бортовая кабельная сеть (БКС). Важнейшим фактором, обеспечивающим функционирование КА в течение всего срока активного существования (15 лет и более), является надежность БКС. Среди множества факторов, влияющих на надежность (применяемые материалы и комплектующие, технология изготовления, конструкция и пр.), одним из важнейших является надежность контактных соединений. В настоящее время существуют различные способы контроля качества контактных соединений, как разрушающие, так и неразрушающие [1–4]. Одним из перспективных методов неразрушающего контроля контактных соединений в БКС, является метод нелинейной рефлектотметрии [5, 6]. Использование такого метода позволяет обеспечить «доступ» к внутренним контактным соединениям в составе готового кабеля, не нарушая его целостность, и получить реакцию таких соединений на зондирующий импульс. Представляется актуальной задача проведения экспериментального исследования характеристик реальных контактных соединений в целях создания «портрета», позволяющего идентифицировать дефекты. Данные исследования позволят совершенствовать и сделать более чувствительными методы рефлектотметрии в целях обнаружения латентных дефектов в контактных соединениях бортовой кабельной сети.

Для успешного проведения экспериментального исследования характеристик реальных контактных соединений необходимо, в

первую очередь, составить компьютерную модель некачественного контакта. В качестве САПР для моделирования был выбран AWR Design Environment 14.

Моделью некачественного контакта будет нелинейный резистор NLRESA, имеющий статическое сопротивление $R_{ст} = 50$ мОм. Динамическое сопротивление такого резистора зависит от приложенного напряжения и протекающего через резистор тока: $I = 1$ А. Изменение сопротивления при этом должно быть равно $\Delta R_k = 1$ мОм. В AWR Design Environment вольт-амперная характеристика NLRESA задается выражением

$$G(V) = \frac{1}{R} \cdot (1 + C_0 \cdot V + C_1 \cdot V^2 + \dots), \quad (1)$$

где $C_0, C_1, \dots, C_n$ – полиномиальные коэффициенты, задающие характеристику нелинейности элемента.

Для упрощения вычислений ограничимся одним коэффициентом C_0 , который необходимо подобрать таким образом, чтобы при фиксированном напряжении модель нелинейного резистора отличалась от модели линейного на такую величину тока, чтобы получить значение сопротивления 51 мОм.

При заданной величине тока напряжение по закону Ома для участка цепи будет равно $U = 0,05$ В. Зафиксируем это напряжение, и подберем коэффициент C_0 так, чтобы получить значение тока $I = 980,4$ мА. В нашем случае коэффициент $C_0 = 0,4$, что подтверждается исходя из графического сравнения вольт-амперных характеристик линейного и нелинейного элементов, представленного на рис. 2.

Также введем условное графическое обозначение (УГО) модели контакта (при помощи вкладки Project→Circuit Symbols→Add Symbol), которое представлено на рис. 1.

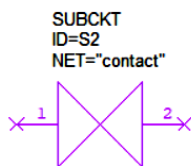
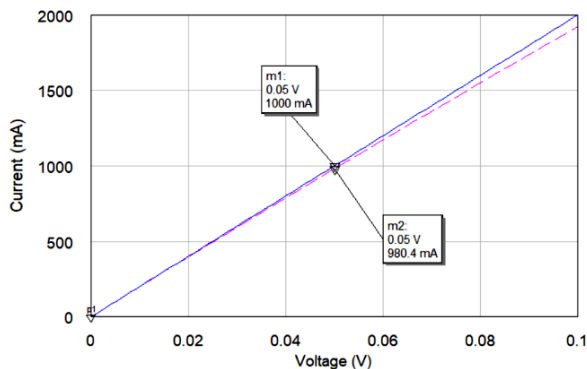


Рис. 1. УГО модели контакта

Анализируя данную зависимость, можно сделать вывод о том, что была создана корректная модель некачественного контакта. Данную модель можно использовать при составлении прототипа и проектировании нелинейного рефлектометра, что, в свою очередь, позволит обнаруживать некачественные соединения в кабельных сетях космических аппаратов.

Рис. 2. Сравнение вольт-амперных характеристик линейного (сплошная линия) и нелинейного (пунктирная линия) резисторов



ЛИТЕРАТУРА

1. ECSS-Q-ST-70-26C. Гарантирование космической продукции. Обжимка высоконадежных электрических соединений. Отделение ESA по требованиям и стандартам. – 2008. – 41 с.
2. РД 134-0209-2013. Нормативный документ по стандартизации РКТ: метод. указания. Выполнение высоконадежных электрических соединений в изделиях ракетно-космической техники методом обжимки.
3. ГОСТ 14312–79. Контакты электрические. Термины и определения.
4. ГОСТ 24715–81. Соединения паяные. Методы контроля качества.
5. Семенов Э.В. Диагностика качества электрических контактов методом нелинейной рефлектометрии с учетом термоэффектов / Э.В. Семенов, С.А. Артищев, А.А. Городилов, С.Б. Сунцов // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (КрыМиКо'2012): матер. 22-я Междунар. конф. – Севастополь, Украина, 2012. – С. 10–14.
6. Артищев С.А. Экспериментальная установка для исследования электрических контактов с учетом термоэлектрических эффектов / С.А. Артищев, Э.В. Семенов // Научная сессия ТУСУР–2013: матер. докладов Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 15–17 мая 2013 г. – Томск: В-Спектр, 2013. – Ч. 1. – С. 191–194.

УДК 621.391.7:383.523

ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ПРОТОКОЛА СКРК V92 НА ПЛАТФОРМЕ ОТКРЫТОГО ПРОЕКТА IBM QUANTUM EXPERIENCE

А.О. Кирнос, студентка каф. РСС

*Научный руководитель А.С. Задорин, проф. каф. РСС, д.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, alina_kirnos@mail.ru.*

Представлены результаты экспериментальной проверки адекватности компьютерной модели системы квантового распределения ключей

чей протокола B92 в облачной среде IBM Quantum Experience с использованием трансмон-кубитов на базе сверхпроводящих квантовых интерферометров, а также фреймворка QISKit и Quantum Composer QX.

Ключевые слова: IBM Quantum Experience, трансмон-кубиты, квантовое распределение ключей, сверхпроводящие квантовые интерферометры, протокол B92.

Понятие квантового превосходства (quantum supremacy) основано на возможности создания ряда квантовых схем, функциональность которых невозможна для моделирования на классическом компьютере [1, 2]. Эта концепция демонстрирует уникальные возможности и ресурсы квантовых компьютеров, такие как прямой доступ к состояниям перепутанности и суперпозиции квантовых частиц и др. Так, последние достижения в области построения квантовых вычислителей, описанные в журнале Nature, касаются создания 53-кубитных процессоров, уже сегодня демонстрируют их возможности обеспечивать «квантовое превосходство» в скорости решения некоторых задач над традиционными современными суперкомпьютерами в десятки тысяч раз [3]. Указанные эксперименты являются наглядной демонстрацией значительного прогресса и перспективности квантовых вычислений. Такие результаты показывает, например, фирма IBM, демонстрирующая рост объема таких вычислений, удваивающийся четвертый год подряд [4].

Целью данной работы является выработка такого опыта за счет построения и исследования модели системы квантового распределения ключей [7] (СКРК, quantum key distribution system) по протоколу B92 с использованием проекта IBM Quantum Experience, обеспечивающих облачные квантовые вычисления соответствующих логических задач с использованием квантовых сверхпроводящих кубитов.

Принцип работы системы поясняется структурной схемой рис. 1. СКРК-B92 представляет собой пример программно-определяемой радиосистемы (Software-defined radio, SDR), в которой как приготовление кубитов $|0\rangle$, так и логические операции по формированию ключа k контролируются электронными процессорами ПА и ПБ.

Часть программной модели такой системы в среде Mathcad приведена на рис. 2. Соответствующие результаты расчета уровня квантовых битовых ошибок Q-Ber для числа передаваемых кубитов $NN=100$ в условиях отсутствия системных шумов показаны на рис. 3. Представленные данные показывают, что при отсутствии в канале связи агента АЕ Q-Ber = 1.

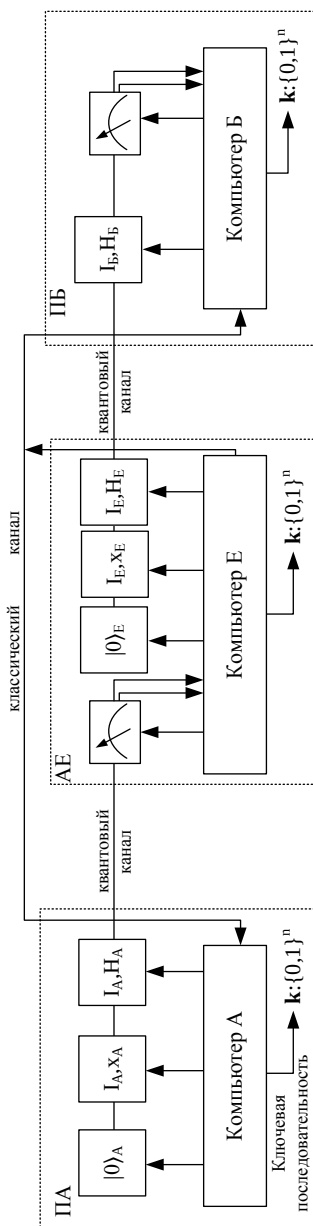


Рис. 1. Схема формирования ПА и ПБ секретной ключевой последовательности $\mathbf{k}$ в присутствии АЕ

Однако, как видно из рис. 3, активность АЕ приводит к резкому увеличению уровня квантовых ошибок $Q\text{-Ber} \rightarrow 0,5$. Именно поэтому показатель $Q\text{-Ber}$ используется для детектирования присутствия АЕ в квантовом канале СКРК [8–10]. Проверка адекватности результатов, представленных на рис. 3, осуществлялась на квантовом компьютере IBM Q [4–6]. Основным узлом IBM Q является квантовый процессор, формирующий и обрабатывающий кубиты $|\psi_i\rangle$. В проекте IBM $|\psi_i\rangle$ представляют собой высокочастотные сверхпроводящие трансмон-кубиты (transmon qubit), формируемые в холодильной установке, внутри которой поддерживается температура около 0,0144 К, сверхпроводящем квантовом интерферометре (СКВИД) с включёнными в него контактами Джозефсона.

XYa_0 и XYa_1 - Два случайных состояния кубитов в неортогональном базисе при их кодировании символами 0 и 1 на стороне А

$$XYa_0 := \frac{(1 \ 1)}{\sqrt{2}} \quad XYa_1 := (0 \ 1)$$

XYb_0 и XYb_1 - Два случайных состояния кубитов в неортогональном базисе при декодировании символов 0 и 1 на стороне Б

$$XYb_0 := (1 \ 0) \quad XYb_1 := \frac{(-1 \ 1)}{\sqrt{2}}$$

$XYem_0$ и $XYem_1$ - Два случайных состояния кубита в неортогональном базисе при их измерении агентом АЕ

$$XYem_0 := (1 \ 0) \quad XYem_1 := \frac{(-1 \ 1)}{\sqrt{2}}$$

$XYep_0$ и $XYep_1$ - Два случайных состояния кубита в неортогональном базисе при его приготовлении агентом АЕ

$$XYep_0 := \frac{(1 \ 1)}{\sqrt{2}} \quad XYep_1 := (0 \ 1)$$

Начало. Действия легитимного пользователя А

- случайный выбор состояний передаваемого символа и кубита стороной А

$$kA := \text{trunc}(\text{md}(2)) = 0 \quad XYa_{kA} = (0.707 \ 0.707)$$

$$kA = 0$$

$$QBit := XYa_{kA} = (0.707 \ 0.707) \quad QBit - \text{кубит, сформированный на стороне А}$$

$$KSym_A := \begin{cases} 1 & \text{if } kA = 1 \\ -1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \begin{array}{l} KSym_A - \text{значение передаваемого символа} \\ KSym_A = -1 \end{array}$$

Действия в СКРК нелегитимного агента Е

$$mE := \text{trunc}(\text{md}(2)) = 0$$

$XYem$ - выбор АЕ состояния измеряемого кубита

$$XYem := XYem_{mE} = (1 \ 0)$$

$$MEAS_E := QBit \cdot XYem^T = 0.707$$

а

Рис. 2 (начало)

Действия в СКРК легитимного пользователя Б

$mB := \text{trunc}(\text{md}(2)) = 0$ - выбор состояния измеряемого кубита на стороне Б

$$\begin{aligned} XYb &:= XYb_{mB} = (1 \ 0) & kA = 0 \quad mB = 0 \\ \text{Sym_B} &:= \begin{cases} 1 & \text{if } mB = 1 \\ -1 & \text{otherwise} \end{cases} & XYb = (1 \ 0) \\ & & \text{Sym_B} = -1 \end{aligned}$$

Результат измерения MEAS_B кубита QBit на стороне Б в базисе XYb_{mB}

$$\begin{aligned} \text{MEAS_B} &:= \text{QBit} \cdot XYb^T = 0.707 \\ \text{MEAS_B} &:= \text{QBitE}_1 \cdot XYb^T = 0.5 \\ \text{QBer} &:= 0 \quad \text{QBer2} := 0 \quad \text{QBer3} := 0 \quad B := 0 \end{aligned}$$

divide -вероятность правильного измерения состояния кубита стороной Б

$$\text{divide} := (\text{MEAS_B}^2) = 0.25 \quad NN := 1000 \quad NN - \text{число измерений на стороне Б}$$

$$\begin{aligned} \text{Ppass} &:= 0.3 \quad \text{Pincor} := 0.2 \\ \text{Prob}(x, \text{divide}) &:= \begin{cases} z \leftarrow \text{Sym_B} & \text{if } x \leq \text{divide} \\ z \leftarrow 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\ & \quad \text{return } z \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PDincor}(V, x, \text{Pincor}) &:= \begin{cases} z \leftarrow -V & \text{if } x \leq \text{Pincor} \\ z \leftarrow V & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{PDpass}(V, x, \text{Ppass}) := \begin{cases} z \leftarrow 0 & \text{if } x \leq \text{Ppass} \\ z \leftarrow V & \text{otherwise} \end{cases} \\ i &:= 0..NN - 1 & \quad \text{return } z \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p &:= \text{runif}(NN, 0, 1) \\ \text{KSym_B}_i &:= \text{Prob}(p_i, \text{divide}) \quad \text{QBer} := \sum_{i=0}^{NN-1} (\text{KSym_B}_i - \text{KSym_A} \cdot |\text{KSym_B}_i|) \end{aligned}$$

Расчет QBer- коэффициента квантовых ошибок, проц.

$$\text{QBer} := \begin{cases} (-\text{QBer}) \cdot \frac{100}{2NN} & \text{if } \text{KSym_A} = 1 \\ (\text{QBer}) \cdot \frac{100}{2NN} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{QBer} = 0$$

$\bar{b}$

Рис. 2 (окончание). Модель СКРК-B92 в программной среде Mathcad:

a – модель действий ПА и активности АЕ; $\bar{b}$ – модель действий ПБ

Работа этого интерферометра основана на явлении квантования магнитного потока. При изменении магнитного потока через кольцо СКВИД выходной сигнал осциллирует с периодом, пропорциональным кванту магнитного потока.

В проекте IBM Q кубиты $|\psi_i\rangle$ приготавливаются на основе СКВИД в форме металлического контура размером в десятки микрон с встроенными джозефсоновскими переходами шириной несколько нанометров [4–6]. При температурах $\sim 0,0144$ К, через такой интерферометр течет ток сверхпроводимости, который может спонтанно менять направление как по часовой стрелке, так и против нее. Принято, что направления тока по часовой стрелке и против нее

соответствуют 0 и 1. Промежуточное состояние образует суперпозицию состояний. Внешнее электромагнитное поле может переключать систему в одно из указанных состояний.

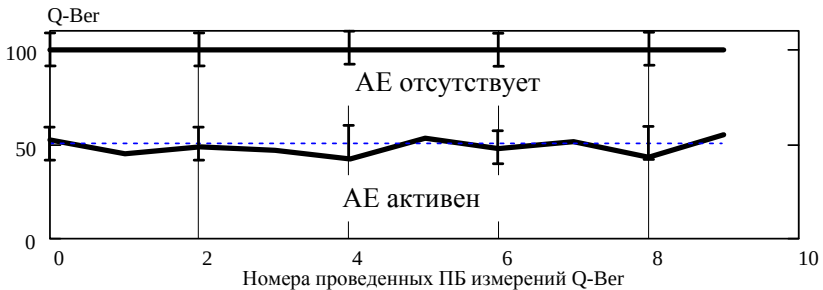


Рис. 3. Расчет влияния АЕ на уровень коэффициента квантовых ошибок Q-Ber в канале СКРК и результаты эксперимента по измерению Q-Ber СКРК-B92 в среде IBM Quantum Experience

Среда IBM Quantum Experience дает возможность формирования алгоритма по схеме рис. 2 на языке Python. Для этой цели фирма предоставляет программное обеспечение QISKit (Quantum Information Software Kit), а также приложение для графического программирования Quantum Composer QX [6, 7]. В состав данной вычислительной платформы включена библиотека примеров реализации ряда квантовых алгоритмов, в их числе рассматриваемый здесь алгоритм СКРК-B92. Мы воспользовались этим программно-аппаратным комплексом для экспериментальной проверки представленной на рис. 3 расчетной зависимости уровня системного Q-Ber от различных экспериментальных выборок для 100 элементной кубитовой последовательности $|\psi\rangle$, формируемой ПА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дирак П.А.М. Принципы квантовой механики. — М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. — 480 с.
2. Прескилл Дж. Квантовая информация и квантовые вычисления. — Т. 2. — М.-Ижевск; НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика»; Институт компьютерных исследований, 2011. — 312 с.
3. Feynman R.P. Simulating Physics with Computers // International Journal of Theoretical Physics. — 1982. — 1 June. — Vol. 21, No. 6–7. — P. 467–488.
4. Arute F., Arya K., Babbush R. et al. Quantum supremacy using a programmable superconducting processor // Nature. — 2019. — Vol. 574. — P. 505–510. — <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1666-5>
5. Электронный ресурс. — Режим доступа: <http://https://quantum-computing.ibm.com>

6. IBM Quantum/ IBM Quantum Experience [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://qiskit.org/textbook/ch-algorithms/teleportation.html>

7. Имре Ш., Балаж Ф. Квантовые вычисления и связь. Инженерный подход. – М.: Физматлит, 2008. – 320 с.

8. Bennett C.H., Brassard G. Quantum cryptography: Public key distribution and coin tossing // Proceedings of IEEE International Conference on Computers and Systems and Signal Processing (Bangalore, India). – 1984. – P. 175–179.

9. Алексеев В. Глобальный международный проект свободного доступа к квантовым компьютерам IBM Quantum Experience // Компоненты и технологии. – 2018. – № 7. – С. 96–104.

10. Кронберг Д.А., Ожигов Ю.И., Чернявский А.Ю. Квантовая криптография: учеб.-метод. пособие. – М.: Макс Пресс, 2011. – 112 с.

11. Задорин А.С. Квантовое распределение ключей с временным кодированием t -кубитов // Оптика и спектроскопия. – 2018. – Т. 125, вып. 3. – С. 419–424.

УДК 621.374

УДВОИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ С-ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН

А.Н. Корягин, студент каф. СВЧиКР

*Научный руководитель А.А. Трубачев, доцент каф. СВЧиКР
г. Томск, ТУСУР, leha.koryagin@yandex.ru*

Приведены результаты моделирования характеристик сверхвысоко-частотного транзитрного удвоителя частоты диапазона 5,8–6 ГГц (С-диапазон) с использованием полевого транзистора 3П618В [1], а также дан анализ полученных характеристик (выходной спектр, зависимость модуля коэффициента отражения по входу от частоты, частотная зависимость коэффициента преобразования).

Ключевые слова: удвоитель частоты, фильтр, спектр, коэффициент преобразования, частотные характеристики, S-параметры.

В передатчиках и приемниках СВЧ-диапазона в качестве выходных каскадов необходимо использовать умножители частоты (УЧ) вследствие того, что рабочие частоты мощных транзисторных усилителей не превышают единиц гигагерц.

В настоящее время умножители частоты получили очень широкое распространение в разнообразных видах радиоэлектронной аппаратуры.

Необходимо было разработать транзисторный удвоитель частоты с диапазоном частот 5,8–6 ГГц с заданными параметрами:

- подавление 1-й и 3-й гармоник не менее – 20 дБ;
- коэффициент отражения по входу – не более –15 дБ;
- коэффициент преобразования – не менее 0 дБ.

Результаты работы. Для реализации данного проекта был выбран удвоитель частоты на полевом транзисторе [2]. Удвоители частоты, использующие транзисторы, имеют лучшую эффективность преобразования по сравнению с диодными умножителями частоты. Диодные умножители всегда имеют потери преобразования, а умножители на полевых транзисторах обеспечивают больший коэффициент преобразования. Структурная схема удвоителя частоты изображена на рис. 1.

В схеме, изображенной на рис. 1, согласующие цепи служат для согласования входных и выходных импедансов. Транзистор управляется напряжением смещения.

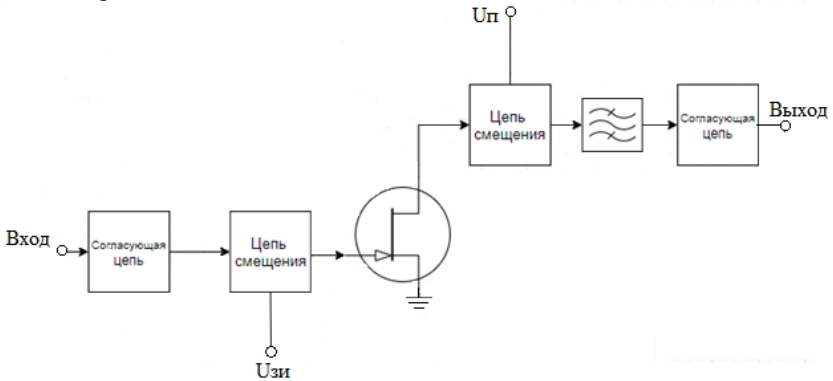


Рис. 1. Структурная схема удвоителя частоты на полевом транзисторе

На рис. 2 изображена принципиальная схема удвоителя частоты, реализованная на микрополосковых линиях.

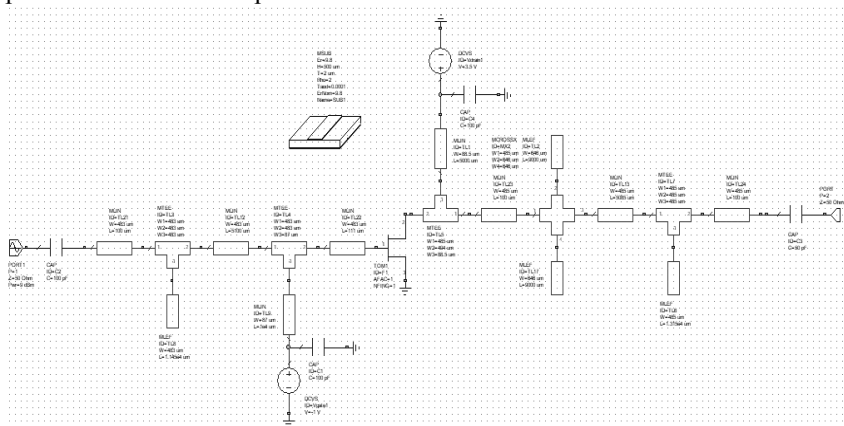


Рис. 2. Принципиальная схема удвоителя частоты

Данная принципиальная схема была спроектирована в САПР AWR DE.

Входная и выходная согласующие цепи были спроектированы с помощью утилиты Smith Chart Utility.

Для подавления 1-й и 3-й гармоник были использованы четвертьволновые отрезки, нагруженные на холостой ход.

На рис. 3 изображен выходной спектр умножителя частоты. Он показывает, что выходной уровень сигнала на второй гармонике выше уровня входного сигнала, а также что 1-я и 3-я гармоники на частотах 5,8–6 ГГц ниже уровня второй гармоники минимум на 20 дБ.

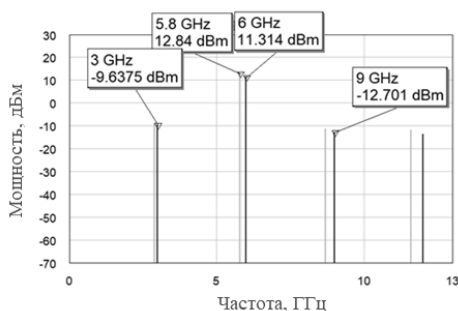


Рис. 3. Выходной спектр удвоителя частоты

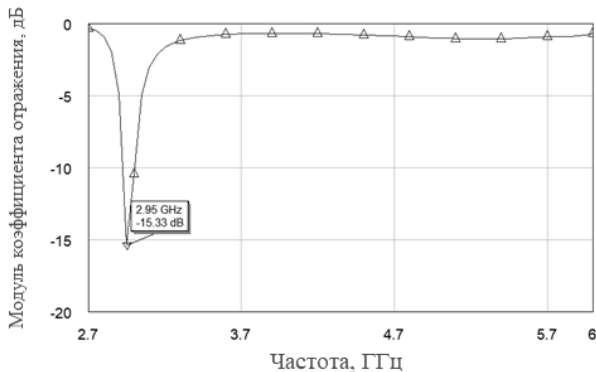


Рис. 4. График зависимости модуля коэффициента отражения по входу от частоты

На рис. 5 изображена частотная зависимость коэффициента преобразования. Эта зависимость показывает, во сколько раз установившееся значение мощности на выходе умножителя больше, чем на входе. Коэффициент преобразования выше 0 в полосе входных частот 2,9–3 ГГц.

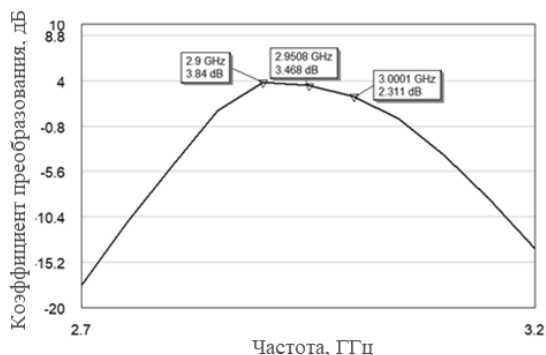


Рис. 5. Частотная зависимость коэффициента преобразования

Результатом проекта считается транзисторный удвоитель частоты С-диапазона длин волн, отвечающий заданным параметрам. Полученные данные сведены в таблицу.

Результаты разработки транзисторного удвоителя частоты С-диапазона длин волн

	Заданные параметры	Полученные параметры
Диапазон выходных частот	5,8–6 ГГц	5,8–6 ГГц
Подавление 1-й и 3-й гармоник	Не менее 20 дБ	Не менее 22 дБ
Коэффициент отражения по входу	Не более –15 дБ	Не более –15,33 дБ
Коэффициент преобразования	Не менее 0 дБ	3,84–2,3 дБ

ЛИТЕРАТУРА

1. Datasheet 3П618В [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.argall.ru/files/618v.pdf> (дата обращения: 29.05.2020).
2. Maas S.A. The RF and Microwave Circuit Design Cookbook. – 1998. – 263 с.

УДК 621.372.632

АКТИВНЫЙ СВЧ-ТРАНЗИСТОРНЫЙ СМЕСИТЕЛЬ С-ДИАПАЗОНА

А.А. Плешков, студент каф. СВЧиКР

*Научный руководитель А.А. Трубачев, доцент каф. СВЧиКР
г. Томск, ТУСУР, leha.pleshkov98@mail.ru*

Приведены результаты моделирования характеристик активного сверхвысокочастотного (СВЧ) транзисторного смесителя с рабочей

частотой 5,9 ГГц с использованием модели биполярного транзистора (БТ) BFR740L3RH.

Ключевые слова: смеситель, коэффициент отражения, частотные характеристики, S-параметры.

S-параметры позволяют определить, насколько качественно устройство выполняет свои функции. В смесителе, активно используемом в СВЧ-устройствах, основными S-параметрами являются коэффициент отражения и коэффициент преобразования. Также важным параметром является точка однодецибельной компрессии. Была использована схема однобалансного смесителя на БТ. Данный тип схемотехнической реализации имеет ряд преимуществ, таких как высокая точность, простота реализации, а также более хорошие характеристики по сравнению с небалансными и диодными смесителями [1]. Структурная схема данного смесителя приведена на рис. 1.

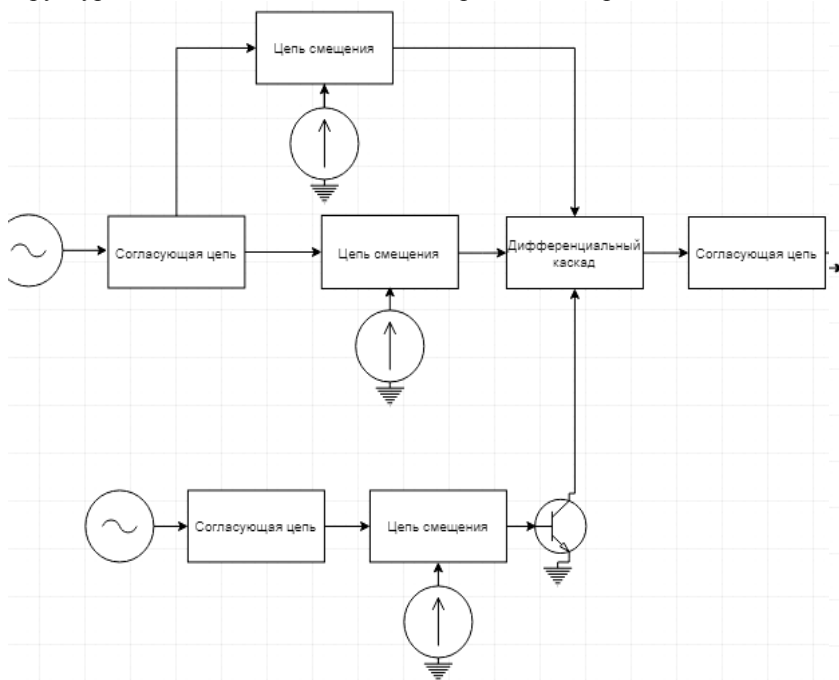


Рис. 1. Структурная схема смесителя

Цепи смещения нужны для стабилизации тока эмиттера. Дифференциальный каскад состоит из двух транзисторов, коллекторы которых направлены на выходную согласующую цепь для перемножения

сигнала гетеродина и входного сигнала. Цепи согласования нужны для согласования импедансов.

Результаты работы. На рис. 2 показано, что модуль коэффициента преобразования при заданной мощности гетеродина $P_{\text{гет}} = 8$ дБм и при заданной мощности входного сигнала $P_{\text{рч}} = -20$ дБм увеличился на 0,3 дБ и при этом остался больше 0 дБ.

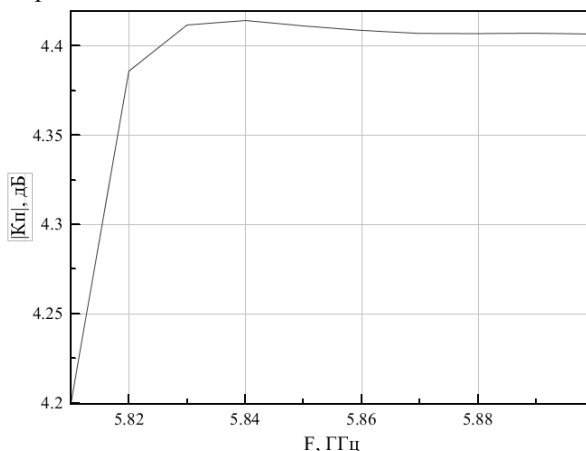


Рис. 2. Зависимость модуля коэффициента преобразования от частоты

Как видно из рис. 4, точка компрессии, определенная как отклонение от величины линейной части графика на 1 дБ [3], составляет -18 дБм.

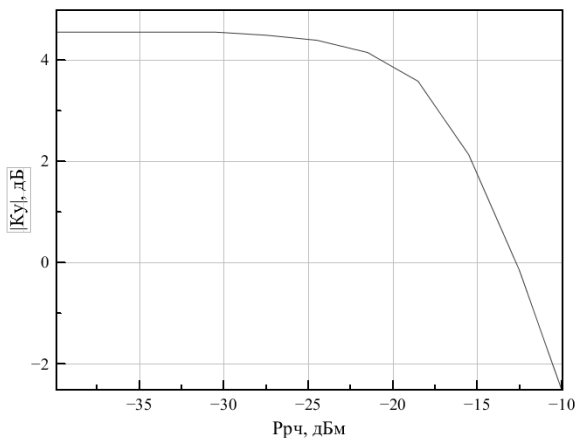


Рис. 3. Характеристика зависимости модуля коэффициента усиления от мощности РЧ-сигнала

На рис. 4 изображены характеристики, показывающие, что модуль коэффициента отражения на порте входного сигнала (красным цветом – 1) падает до величины $-23,91$ дБ, а модуль коэффициента отражения на порте сигнала гетеродина (синим цветом – 2) – на $-37,89$ дБ на центральной частоте.

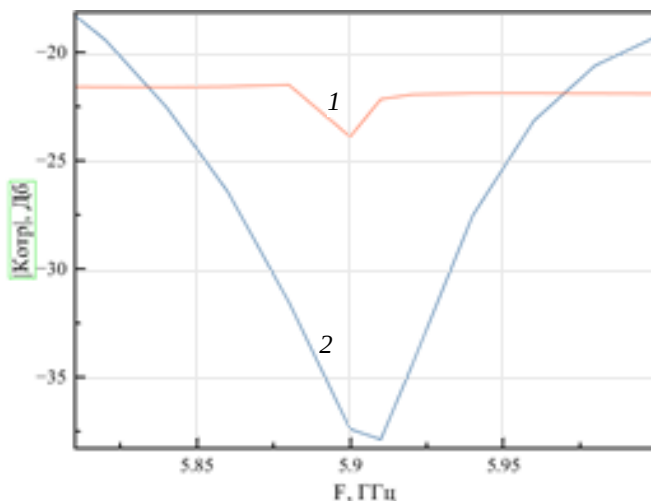


Рис. 4. Зависимость модулей коэффициента отражения по входу от частоты

Результатом работы является модель активного СВЧ-транзисторного смесителя с рабочей частотой 5,9 ГГц со следующими параметрами: коэффициент преобразования более 4,2 дБ, точка однодецибельной компрессии -18 дБм, модуль коэффициента отражения по входу на центральной частоте: на порте входного сигнала $-23,91$ дБ, на порте сигнала гетеродина $-37,89$ дБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Robertson I.D., Lusyszyn S. RFIC and MMIC Design and Technology. – 2000. – 555 p.
2. BFR740L3RH Datasheet [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-BFR740L3RH-DS-v03_00-EN.pdf?fileId=5546d46265f064ff01663896ffd44ecb
3. Kikkert C.J. RF Electronics: Design and simulation. – James Cook University, Townsville, Queensland, Australia, 2015. – 299 p.

**АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМАТИКИ ДИНАМИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ,
ИСПОЛЗУЮЩИХСЯ В ДИСТАНЦИОННОМ
ЗОНДИРОВАНИИ, МЕДИЦИНЕ, КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ**

*А.В. Щегляков, магистрант; Д.С. Кречетов, студент;
Т. Абдирасул уулу, Г.Г. Жук, аспиранты;
А.В. Убайчин, доцент каф. РСС, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. РСС, _9709@mail.ru*

Описана проблематика низкого быстродействия радиометрических систем различных типов.

Ключевые слова: микроволновая радиометрия, пассивное радиовидение, зондирование, быстропротекающие процессы.

Для радиометрических систем, используемых в дистанционном зондировании, медицине, космических исследованиях, играет важную роль динамика измерений, чувствительность и точность результатов измерений. Низкое быстродействие радиометров связано с тем, что для сохранения чувствительности и точности на заданном уровне необходимо определенное время для накопления (усреднения) принимаемого шумового сигнала. Поэтому классические системы пассивных исследований, как правило, осуществляют несколько измерений в секунду. Этого уровня быстродействия недостаточно для исследования динамических объектов, радиотепловое излучение которых характеризуется постоянными времени от нескольких десятков до сотен микросекунд [1, 2].

В настоящее время активно ведется разработка и исследование систем пассивного радиовидения с целью решения таких задач, как поиск опасных объектов, находящихся за различными оптически не прозрачными препятствиями, обеспечение безопасного, быстрого досмотрового контроля в местах большого количества скопления людей, обнаружение радиотепловых аномалий, пассивной всепогодной и круглосуточной радионавигации летательных аппаратов.

Одной из основных характеристик систем пассивного радиовидения является скорость получения радиотепловых изображений. Повышение скорости получения радиотепловых изображений позволит расширить области применения систем пассивного радиовидения.

Одним из наиболее актуальных направлений микроволновой радиометрии являются медицинские исследования. Применение метода радиотермографии, по сравнению с другими методами исследований (томография, УЗИ, рентген), обладает рядом преимуществ, таких как

неинвазивность, безвредность для пациента и медперсонала. Немаловажной задачей для развития методов радиотермографии является создание объемных радиотепловых изображений всего организма. Это подразумевает многократные, многочастотные измерения по всей площади тела человека. Очевидно, что получение объемного радиотеплового изображения сопряжено с сотнями и тысячами измерений радиояростной температуры, что приводит к усложнению диагностики и изменению радиотепловых свойств тела в ее процессе за столь длительный временной промежуток. Также длительные аппликационные измерения сопряжены с накоплением ошибок, связанных с изменением согласования антенны с исследуемой областью тела за счет механической нестабильности положения антенны. Развитие перспективной задачи создания объемных радиотепловых изображений человека сдерживается, в том числе, сравнительно низким быстродействием радиометрических методов [3].

Исследование и мониторинг интегральной и вспышечной активности Солнца обладают особым интересом в научных и практических целях. Влияние солнечной активности на геомагнитное поле Земли сказывается на состоянии и динамике биосферы, технических средствах, в первую очередь связи, наземного и космического базирования и т.д. Особый интерес, с точки зрения описания внутренних быстро развивающихся процессов, представляет собой улучшение временной детализации результатов пассивных дистанционных исследований вспышечной активности в микроволновом диапазоне, его предвестников и прогнозирования влияния на Землю [4].

Заключение. Реализация увеличения быстродействия при сохранении или повышении абсолютной точности и чувствительности позволит внести неотъемлемый вклад для осуществления значительного развития методов и средств пассивных дистанционных исследований радиотепловых процессов в уже описанных и новых областях, решить широкий класс задач оценки, диагностики и прогнозирования динамики быстропротекающих явлений.

Работа выполнена в рамках проекта FEWM-2020-0041 Минобрнауки России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Убайчин А.В. Основы микроволновой радиометрии: учеб. пособие / А.В. Убайчин, А.В. Филатов, П.Е. Орлов. – Томск: Том. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники. – 2014. – 85 с.
2. Camps A. Microwave Radiometer Resolution Optimization Using Variable Observation Times. Article in Remote Sensing. – July 2010. – P. 1826–1843.
3. Убайчин А.В. Линейность передаточной характеристики нулевых радиометров с комбинированной импульсной модуляцией при высоком дина-

мическом диапазоне измеряемых шумовых температур // Известия вузов. Физика. – 2012. – Т. 55, № 9/3. – С. 130–134.

4. Убайчин А.В. Многоприемниковые микроволновые радиометрические системы на основе модификации нулевого метода измерений / А.В. Убайчин, А.В. Филатов. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2014. – 154 с.

УДК 621.382

ПРОБЛЕМАТИКА КОРРЕКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИБОРОВ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

С.И. Разгуляев, аспирант каф. РСС

*Научный руководитель Э.В. Семенов, проф. каф. РСС, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, Sergeant_96@mail.ru*

Дана оценка проблем корректного измерения вольт-амперной характеристики полупроводниковых приборов с отрицательным дифференциальным сопротивлением.

Ключевые слова: вольт-амперная характеристика, полупроводниковые приборы, отрицательное дифференциальное сопротивление.

В 1963 г. Джон Баттискомб Ганн обнаружил, что если приложить постоянное электрическое поле, большее некоторого порогового значения, к образцу арсенида галлия или фосфида индия n-типа, то наблюдаются спонтанные периодические колебания тока, протекающего через образец. Для GaAs напряженность порогового поля составляла около 3 кВ/см, для InP – около 6 кВ/см.

При этом в образце возникает область сильного электрического поля (домен), дрейфующая от катода к аноду со скоростью около 10^7 см/с и исчезающая у анода. Этот процесс периодически повторяется, причём при формировании домена ток падает, а при исчезновении домена вновь возрастает до пороговой величины. В 1963 г. Ридли показал [1], что явления доменной неустойчивости возникают в полупроводнике с N-образной вольт-амперной характеристикой (ВАХ). Ток через диод определяется как

$$I(E) = qnSv(E), \quad (1)$$

где q – заряд электрона, n – концентрация примеси в диоде, а S – площадь диода, $v(E)$ – дрейфовая скорость электронов.

$$v(E) = \frac{\mu E + v_s (E/E_0)^4}{1 + (E/E_0)^4}, \quad (2)$$

где E – напряженность электрического поля, E_0 – напряженность поля, определяющая положение максимума $v(E)$, μ – подвижность электронов, v_s – дрейфовая скорость электронов при неограниченно высокой напряженности поля.

Из формулы (2) следует, что ток может падать с ростом электрического поля, если либо концентрация носителей, либо их дрейфовая скорость уменьшаются при увеличении поля [2]. Такое явление можно наблюдать на вольт-амперной характеристике диода Ганна, но на сегодняшний день проблема ее корректного измерения до сих пор не решена.

Проблема измерения вольт-амперных характеристик для диодов Ганна связана со следующим:

- на ВАХ есть участок с отрицательным сопротивлением;
- на ВАХ наблюдается скачок и гистерезис [3];
- саморазогрев устройства длинными импульсами или постоянным током приводит к очень сильным изменениям ВАХ.

Исходя из (2), можно представить аналитическую модель ВАХ диода Ганна. Если перейти от напряженности электрического поля к напряжению на диоде, то получим

$$I(U) = \frac{\frac{qnS\mu U}{l} + qnSv_s \left(\frac{U}{U_0}\right)^4}{1 + \left(\frac{U}{U_0}\right)^4}. \quad (3)$$

Первое слагаемое в числителе формулы (3) описывает ток через диод Ганна при малом напряжении. Этот ток равен U/R_0 , где R_0 – сопротивление диода Ганна при нулевом смещении. Коэффициент $qnSv_s$ во втором члене числителя – это ток при неограниченно высоком напряжении на диоде. Обозначим этот ток I_s . Таким образом, мы получаем удобный вид ВАХ, в котором присутствуют только параметры, непосредственно определяемые из ВАХ:

$$I(U) = \frac{\frac{U}{R_0} + I_s \left(\frac{U}{U_0}\right)^4}{1 + \left(\frac{U}{U_0}\right)^4}. \quad (4)$$

Также следует учитывать, что при формировании домена напряжение на участке полупроводника вне домена уменьшается на величину напряжения на домене U_d . Это приводит к смещению кривой

вольт-амперной характеристики влево на U_d . Таким образом, полная ВАХ диода Ганна (без гистерезиса) описывается выражением

$$I(U) = \frac{\frac{U-U_d}{R_0} + I_s \left(\frac{U-U_d}{U_0} \right)^4}{1 + \left(\frac{U-U_d}{U_0} \right)^4}, \quad (5)$$

где $U_d = 0$ в отсутствие домена (если напряжение на диоде меньше порогового значения напряжения) [2].

Также влияние оказывает индуктивность источника тестовых импульсов на результаты измерения. Как показано в [2], внутреннее сопротивление источника тестовых импульсов при измерении ВАХ диодов Ганна не должно превышать нескольких десятых долей ом. Реализовать линии передачи с таким волновым сопротивлением практически невозможно. Когда диод Ганна соединен линией с большим волновым сопротивлением, эта линия проявляется как последовательная индуктивность L_G .

Влияние индуктивного реактивного сопротивления источника тестового сигнала в основном такое же, как и для реального сопротивления. При превышении порогового напряжения ток диода резко падает, что приводит к возникновению электродвижущей силы самоиндукции (ЭДС) u_L на L_G .

При уменьшении тока ЭДС самоиндукции оказывается положительной, что приводит к увеличению напряжения на диоде и пропуску области разрыва и отрицательного дифференциального сопротивления на ВАХ. Отличие от влияния реального сопротивления источника сигнала состоит в том, что после окончания переходного процесса напряжение на диоде снова уменьшается, ток увеличивается, и на L_G появляется ЭДС самоиндукции противоположного знака. Это может привести к переходу в подпороговый режим. Если в индуктивности накоплено достаточно энергии, процесс переключения между подпороговым режимом и режимом домена может принимать периодический характер.

Чтобы правильно отобразить скачок ВАХ, следует стремиться к режиму измерения без нагрева. При напряжениях выше u_0 искажения ВАХ связаны с саморазогревом диода, но требования к длительности импульса менее жесткие.

Вторым фактором искажения ВАХ диода Ганна является внутреннее сопротивление источника тестового сигнала.

Третий фактор искажения ВАХ – самовозбуждение соединительной цепи, если ее полное сопротивление имеет индуктивный характер.

Определение характеристик диодов Ганна связано с большими техническими трудностями. Одна из причин этих трудностей заключается в том, что ВАХ этих диодов сильно зависят от температуры и, следовательно, от длительности испытательного импульса. Следовательно, для полной характеристики диода Ганна требуется измерение ВАХ при различных длительностях тестовых импульсов (включая наносекундные длительности). В [5] представлены результаты измерений ВАХ диодов Ганна при длительностях тестового сигнала от 100 нс.

Кроме того, результаты короткоимпульсных измерений ВАХ [5], показывают область отрицательного дифференциального сопротивления со значительными искажениями: теоретически предсказанный скачок ВАХ отсутствует в представленных кривых и ВАХ в этой области практически однородны.

Вывод. В результате всего вышесказанного корректное измерение ВАХ таких полупроводниковых приборов вызывает определенные трудности. Предполагается решение вышеописанных проблем при помощи измерения ВАХ полупроводниковых приборов с отрицательным дифференциальным сопротивлением рефлектометрическим методом во избежание саморазогрева прибора, а также самовозбуждения присоединительной цепи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левинштейн М.Е. Эффект Ганна / М.Е. Левинштейн, Ю.К. Пожела, М.С. Шур. – М.: Сов. радио, 1975. – 288 с.
2. Semyonov E.V., Malakhovskij O.Yu. Influence of the Output Resistance of Measurement System to I-V Characteristics of Gunn Diodes // Proc of 14th Int. conf. «Actual Problems of Electronic Instrument Engineering». – Novosibirsk, Russia. – Vol. 1, part 1. – P. 70–72.
3. Murayama K., Ohmi T. Static negative resistance in highly doped Gunn diodes and application to switching and amplification // Japanese journal of applied physics. – 1973. – Vol. 12. – P. 1931–1940.
4. Semyonov E.V., Malakhovskij O.Y. Short-Pulse Properties of the Gunn Diode // IEEE Trans. Electron Devices. – 2020. – Vol. 67, No. 5. – P. 2100–2105.
5. Förster A., Stock J., Montanari S., Lepsa M., Lüth H. Fabrication and characterisation of GaAs Gunn diode chips for applications at 77 GHz in automotive industry // Sensors. Apr. – 2006. – Vol. 6, No. 4. – P. 350–360. – DOI: 10.3390/S6040350.

ПОДСЕКЦИЯ 1.4

АУДИОВИЗУАЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ЦИФРОВОЕ ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЙ СЕРВИС

Председатель – Курячий М.И., доцент каф. ТУ, к.т.н.

УДК 004.932.4

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕКСТА РЕКВИЗИТОВ ПАСПОРТА РФ

Т.Ю. Гребёнкина, студентка каф. ТУ

*Научный руководитель А.В. Каменский, ст. преп. каф. ТУ
г. Томск, ТУСУР, andru170@tu.tusur.ru*

Представлен алгоритм распознавания текстовых данных реквизитов паспорта РФ. Алгоритм является частью системы, которая распознает и извлекает текстовые данные паспорта, записывает их в базу данных (в таблицу MS Excel) и создает готовый документ, заполненный полученными паспортными данными.

Ключевые слова: алгоритм, распознавание, текстовые данные, паспорт, система распознавания.

Распознавание текста имеет высокий спрос во многих областях жизни: банковская сфера, образование, медицина и т.д. Конечно с годами и со степенью развития и внедрения информационных технологий в нашу жизнь спрос и значимость будут расти. Везде документооборот зачастую является рутинным, востребованным, а значит, актуальность системы распознавания текстовых данных очевидна. Особенно остро эта проблема проявляется в образовательных учреждениях, специфика которых требует постоянного обновления, в том числе и паспортных данных [1].

Данная работа посвящена разработке системы распознавания текстовых данных для работы в образовательном учреждении. При успешном осуществлении система будет использоваться для выполнения ежедневных задач для хранения информации, ведения и составления документов для студентов, проживающих в общежитии.

Алгоритм распознавания текста реквизитов паспорта РФ. Система распознавания текста с изображения строится на алгоритме

действий, который будет совершенствоваться во всем процессе распознавания. Описание алгоритма для данной системы распознавания будет приведено ниже [2].

Чтобы распознать текстовые данные со страницы паспорта, системе распознавания нужно решить следующие задачи:

1. Определить границы паспорта на изображении и удалить «лишнюю» область.
2. Определить поля для распознавания, добавить контуры.
3. Распознать контуры, добавленные для каждого поля.
4. Проверить правильность выполнения процесса, при ошибке – повторить алгоритм.
5. После верного распознавания записать каждое поле в одноименные столбцы в таблицу MSExcel.

Рассмотрим, как будет проходить процесс предобработки изображения паспорта.

Есть изображение паспорта РФ. Присутствует лишний фон на изображении – удаляем его по контуру паспорта. Для разделения областей для распознавания разделяем паспорт на две части (по страницам).

Система будет добавлять контуры по необходимым полям, текстовые данные которых надо извлечь. Систему заранее нужно будет «натренировать» и обозначить ей контуры. Она будет их сопоставлять с полями и из полученных областей будет извлекать данные. Самое главное, что нужно будет делать, – подавать на сканер или фотографировать на камеру паспорт с одной и той же точки, расстояния, угла наклона.

Контуры будут расставляться по следующим полям: кем выдан паспорт, когда выдан, код подразделения, фамилия, имя, отчество, пол, дата рождения, место рождения, серия и номер. Серия и номер в паспортах РФ имеются в двух местах, и они будут забираться с того места, где были поставлены контуры. Пример расставленных контуров на изображении паспорта РФ приведен на рис. 1.

В системе распознавания текста каждое поле распознается и формирует данные. По окончании процесса распознавания обязательно проверка извлеченных данных. Если данные содержат ошибки или вообще не распознаны, то заново происходит процесс распознавания. Повториться ошибка может, если были смещены контуры, а это произойдет, если изображение изначально будет подано на вход неверным. Необходимо выявить проблему и провести работу над ошибками [3].

Если данные извлеклись верно, то дальше система должна занести каждое поле в одноименный столбец в таблице MSExcel, при этом

таблица создается заранее. В коде, который осуществляет процесс, указываем ссылку на запись данных в нужное поле и нужный столбец. Этот процесс пока не пройден, но план осуществления выглядит так. Главное достичь того, чтобы все заносилось в таблицу, а не выдавалось отдельными файлами, а также чтобы затем записывалось все на новое поле, а не перезаписывалось каждый раз одно и то же.



Рис. 1. Расставленные контуры для извлечения текстовых данных

Заключение. Описан алгоритм распознавания текста реквизитов паспорта РФ. Подробно рассмотрены этапы работы алгоритма, разделение изображения, выделение контуров, приведена модель алгоритма.

Алгоритм представлен как часть процесса распознавания. Она будет представлять собой систему, которая распознает и извлекает текстовые данные паспорта, записывает их в базу данных, в данной работе таблицы MSExcel, и создает готовый документ из полученных паспортных данных.

Система планируется на первоначальном этапе для распознавания и извлечения текстовых данных с изображений паспортов Российской Федерации. В дальнейшем при развитии планируется добавление паспортов иностранных граждан, так как в общежития заселяются граждане Республики Казахстан, Республики Узбекистан и других иностранных государств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабаев Ан.М., Алексеев Ю.В., Бабаев Ал.М., Авдеева Т.Г. Автоматизация извлечения текста из изображения посредством оптического распо-

знавания символов // Сб. науч. трудов по матер. междунар. науч.-практ. конф.: в 2-х ч. – Белгород: ДонГТУ, 2018. – С. 31–36.

2. Комарова В.В., Шевалдин В.А., Филюшкина А.И. Система автоматического распознавания паспортных данных // Тезисы 71-й межрег. науч.-практ. конф. молодых ученых. – Кострома: КГУ, 2019. – С. 39–40.

3. Фомичева Т.Л. Информационные технологии распознавания документов / Т.Л. Фомичева, С.В. Савина, А.А. Казаченко // Территория науки. – 2018. – № 3. – С. 59–62.

УДК 62-502.55

МИГРАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ВИДЕОКОНТЕНТА В ФИЛИАЛЕ ВГТРК «ГТРК «ТОМСК»»

А.В. Яценко, В.А. Куракин, магистранты каф. ТУ

Научный руководитель М.И. Курячий, доцент каф. ТУ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, nastya-yashenko@mail.ru

Представлена миграция телевизионного контента на базе филиала Всероссийской государственной телевизионной и радиовещательной компании города Томска.

Ключевые слова: оцифровка контента, видеосервер, конвертация видеофайла, нелинейный видеомонтаж.

Цель данной статьи состоит в том, чтобы продемонстрировать миграцию видеоконтента от корреспондентов до передатчика пользователя.

Видеофайлы, подготовленные оператором и корреспондентами, поступают в программную среду Media Ingest. На рис. 1 показана упрощенная схема миграции видеоконтента.

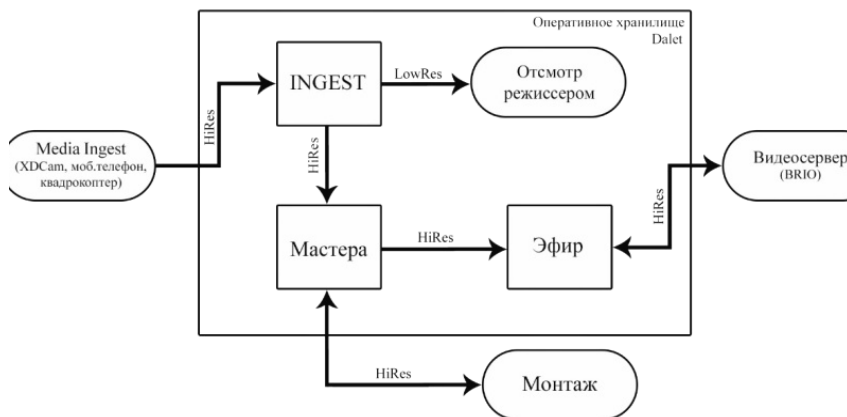


Рис. 1. Схема миграции

Программное приложение позволяет загружать снятые видеофайлы с доступных носителей информации, производить транскодирование видеофайлов в формат, используемый в производстве, и осуществлять их загрузку на FTP, в сетевую или локальную папку. Кроме того, с помощью данного приложения можно производить дополнительные работы с медиафайлом: осуществлять просмотр с возможностью кадрового просмотра, производить разметку видеофайлов (разделение на сегменты), отслеживать уровень громкости выбранного аудиотрека. Собранный контент с различных источников съемки (XDCam, смартфон, квадрокоптер) приводится к единому формату со следующими параметрами: кодек MPEG2, размер кадра 1920×1080, соотношение сторон 16:9, формат субдискретизации 4:2:2, постоянный битрейт (CBR) 50.

После данной процедуры все файлы помещаются в оперативное хранилище (среда Dalet).

Dalet Plus – система программного обеспечения для автоматизации вещания и управления процессом поиска, сбора и хранения видео-, аудиоматериала [1]. Конвергентная система позволяет публиковать подготовленные материалы в телевизионных эфирах, на WEB- и WAP-сайтах. Модульная система с возможностью наращивания и оптимизации рабочих процессов под потребности заказчика [2]. В программе есть три варианта состояния файла в хранилище: красный цвет – файл содержит ошибку, желтый – загрузка файла, зеленый цвет – файл готов к использованию.

Поступившие файлы Dalet автоматически конвертирует и создает прокси-копии. HiRes – это файлы высокого качества, которые поступили в Dalet из Media Ingest и которые будут уже использоваться при профессиональном монтаже сюжетов, телепередач. LowRes – файлы низшего качества для предпросмотра шеф-редакторами и создания предварительных идей монтажа (файлы низшего качества используются для загрузки системы, так как по сравнению с файлами HiRes они занимают достаточно малый объем памяти).

После осуществления видеомонтажа HiRes кодируется в соответствии с параметрами, представленными в программном приложении Media Ingest, затем снова поступает в среду Dalet в папку «Мастера». После чего файлы (MXF) поступают на видеосервер (BRIO) и далее воспроизводятся в телеэфире [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник пользователя: The Core Client Dalet Enterprise Edition 3.5. – Dalet, 2012. – 90 с.

2. Dalet Plus – система программного обеспечения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.iservice.kiev.ua/ru/catalog/automation/dalet/dale_plus/ (дата обращения: 04.03.2021).

3. Material eXchange Format [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/MXF> (дата обращения: 04.03.2021).

УДК 621.396.41

ОБРАБОТКА И ОЦЕНКА КОНТРАСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗОБРАЖЕНИЙ

Р.Е. Макажанов, магистрант каф. ТУ

г. Томск, ТУСУР, rustam_makazhanov@mail.ru

Выполнена оценка качественных характеристик изображений при приведении гистограммы изображения по методу равномерного закона распределения и к пилообразному закону распределения.

Ключевые слова: качественная характеристика, повышение качества, количественная оценка.

Существует два вида оценки качества цифрового изображения: количественная и субъективная [1].

Субъективная оценка зависит от внешних факторов, таких как освещение, условия окружающей среды, качество аппаратуры, а также специалиста, проводящего оценку, но это очень сложный, кропотливый и небыстрый процесс, для которого необходим опытный эксперт [2].

Чтобы провести объективную оценку качества изображения, применяют количественные методы [3]. Одной из основных характеристик определения качества изображения является контраст C :

$$C = \frac{L_{\max}}{L_{\min}}, \quad (1)$$

где $L_{\max}$ – максимальное значение яркости; $L_{\min}$ – минимальное значение яркости.

Так же важной характеристикой оценки качества является контрастность. Контрастность – это отношение разности максимальной и минимальной яркости к максимальному значению яркости K :

$$K = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max}}, \quad (2)$$

где $L_{\max}$ – максимальное значение яркости; $L_{\min}$ – минимальное значение яркости.

Одним из основных параметров оценки качества изображений является полнота использования градаций яркостей K_q :

$$K_q = \frac{S}{L_{\max}}, \quad (3)$$

где S – количество уровней яркости; $L_{\max}$ – максимальное значение яркости.

На рис. 1, *а* изображена гистограмма исходного изображения, на рис. 1, *б* – гистограмма изображения, преобразованного равномерным законом распределения, на рис. 1, *в* – гистограмма изображения, преобразованного пилообразным законом распределения.

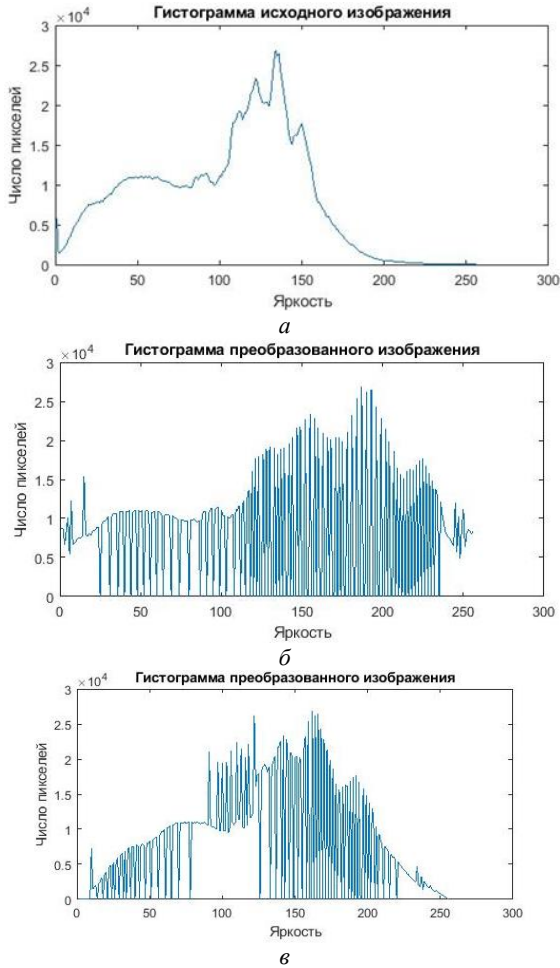


Рис. 1. Гистограммы изображений

Чтобы определить качество работы обработанных изображений, выделим одну часть изображения и сравним их характеристики. Например, выделим небо, на рис. 2, *а* – исходное изображение, на рис. 2, *б* – изображение, преобразованное равномерным законом распределения, на рис. 2, *в* – изображение, преобразованное пилообразным законом распределения.



Рис. 2. Исходное и обработанные изображения «Небо»

Определим характеристики данных изображений. Для этого найдем максимальное и минимальное значение яркости [4]. Результаты измерений сведем в таблицу.

Характеристики изображений

Изображение	$L_{\max},$ кД×м ⁻²	$L_{\min},$ кД×м ⁻²	Кон- траст	Контраст- ность	Полнота исполь- зования градаций яркости
Исходное	164	80	84	0,512	0,0366
Равномерный закон распре- деления	253	81	172	0,6798	0,4229
Пилообразный закон распре- деления	252	85	167	0,6626	0,3571

Из таблицы можно сделать вывод о том, что значение контраста исходного изображения практически в два раза выше преобразованного, это значительно влияет на качество изображения. Основное различие между преобразованием с равномерным законом распределения и при пилообразном законе распределения – это отличие в визуальном плане, так как у человека свое цветовосприятие. Также это видно исходя из характеристики полноты использования градаций яркости. Наблюдается большая разница между исходным и преобразованным изображением, но можно заметить, что при обработке, используя равномерный закон распределения, градация яркости равна 0,4229, а при пилообразном законе распределения составляет 0,3571.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуров А.А., Порфирьева Н.Н. Вопросы оценки контрастности сюжетных изображений // Труды ГОИ им. С.И.Вавилова. – Т. 44, вып. 178. – Л., 1979. – С. 31–34.
2. Смирнов А.Я. Критерии качества дискретизированных изображений // Труды ГОИ им. С.И. Вавилова. – Т. 57. – вып. 191. – Л., 1984.
3. Розенфельд А. Распознавание и обработка изображений. – М.: Мир, 1972. – 230 с.
4. Snyder H.L. Image quality: Measures and visual performance // Flat-Panel Displays and CRTs. – Tannas L.E., Jr. Ed. – New York: Van Nostrand Reinhold, 1985. – P. 70–90.

УДК 004.588

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ 3D-СКАНИРОВАНИЯ И 3D-ПЕЧАТИ В ОБРАЗОВАНИИ

С.В. Серебrenников, магистрант каф. ТУ;

В.А. Семглазов, доцент каф. ТУ

г. Томск, ТУСУР, sereog.seriy@yandex.ru, vadim.tusur@mail.ru

3D-технологии активно проникают во все сферы жизни, от проектирования и строительства огромных зданий до печати на молекулярном уровне. Многие предметы и формы можно создать только с помощью технологий 3D-сканирования и 3D-печати. На сегодняшний день обучение 3D-технологиям является весьма актуальной задачей.

Ключевые слова: 3D-сканирование, 3D-печать, 3D-технологии, образовательные услуги.

В наше время технология аддитивного производства, или, как ее принято называть, технология 3D-печати, всё активнее проникает во все сферы деятельности: от печати пластиковых игрушек и предметов утвари до сложных механизмов, способных возводить здания из бетона. 3D-принтерами называют станки с числовым программным управлением, выполняющие построение детали аддитивным способом. FDM – самая распространенная технология 3D-печати в мире (FDM – печать методом послойного наложения FDM представляет собой процесс аддитивного производства, который реализуется благодаря экструзии материалов. Используемые материалы представляют собой термопластичные полимеры и имеют форму нити). С ее помощью выращивают изделия как дешевые домашние принтеры, так и промышленные системы высокоточной 3D-печати. Принцип построения

по технологии FDM заключается в послойном выращивании изделия из предварительно расплавленной пластиковой нити.

Наравне с технологиями 3D-печати стоит выделить 3D-сканирование. Иногда эти две технологии не могут существовать друг без друга. Трехмерное, или 3D-сканирование, – это процесс представления физического объекта его цифровой моделью. Для получения трехмерных моделей существует множество устройств сканирования, выполненных по различным технологиям. Полученная цифровая модель доступна для постобработки в различном специализированном ПО. При этом в полученную цифровую модель после сканирования объекта можно внести некоторые корректировки и исправить ошибки сканирования. Сама модель становится доступной для дальнейшей обработки в различных программах 3D-моделирования, где ее возможно достроить или модифицировать. Таким образом, взяв за основу реальный физический объект, можно его воспроизвести или по своему желанию реализовать новый физический объект с желаемыми изменениями посредством 3D-принтера [1, 2].

Учитывая вышесказанное, представляется полезным внедрение курса 3D-технологий в процесс обучения в вузе. Учитывая стремительное проникновение данных технологий во все сферы деятельности, выпускникам будет полезно обладание востребованными компетенциями. Студентам необходимо изучить теоретическую часть, а также выполнить практические задания и освоить необходимое ПО [3, 4].

Для этих целей разработан лабораторный практикум из 12 лабораторных работ по 3D-сканированию и 3D-печати.

Для разработки лабораторного практикума необходимо обладать знаниями в области 3D-технологий и понимать принцип работы и устройства 3D-сканера и 3D-принтера [5].

Для проведения лабораторных работ было выбрано следующее оборудование. В данном случае 3D-сканер – EinScan-S и 3D-принтер – Anycubic kossel delta. Предварительно были подобраны темы и содержание лабораторных работ. Темы были подобраны такие, с помощью которых студенты смогут усвоить основы 3D-технологий. Содержание всех 12 работ представлено ниже в таблице.

Разработанный лабораторный практикум поможет студентам получить необходимые компетенции в области 3D-сканирования и 3D-печати и использовать их для своих исследований в других областях знаний. Лабораторный практикум полностью готов к внедрению в учебный процесс ТУСУРа.

Содержание лабораторных работ

Наименование лабораторной работы	Содержание работы
1	2
1. Изучение устройства 3D-сканера, его сборка, настройка, калибровка, установка необходимого программного обеспечения	Необходимо провести сборку 3D-сканера в рабочее состояние. Провести настройку всех его элементов. Установить на ПК все необходимое программное обеспечение для работы (идет в комплекте с 3D-сканером). Сделать калибровку сканера (подготовить его к работе). Изучить принцип работы сканера, его комплектацию, интерфейсы. Разобраться в особенностях и назначении имеющихся форматов трехмерных моделей (SLT, OBJ). Провести первое пробное сканирование. Убедиться в правильности работы 3D-сканера [6]
2. Изучение процесса сканирования – получение трехмерной модели объекта	В ходе работы необходимо провести более сложное сканирование в различных режимах. Сравнить результаты сканирования и сделать выводы о том, какие режимы работы подходят для различных объектов. Научиться управлять режимом сканирования и сборкой модели после нескольких шагов сканирования. В результате необходимо получить готовую 3D-модель
3. Изучение объектов сканирования (темные объекты, металлы)	В работе необходимо провести сканирование металлических, темных и полупрозрачных объектов. Научиться подбирать режимы сканирования для этих объектов. Необходимо получить готовые 3D-модели и сохранить их в форматах STL и OBJ [7]
4. Изучение объектов сканирования (кубические, круглые)	В ходе работы необходимо провести сканирование сложных по текстуре объектов, таких как круг, шар, куб. Понять, как нужно сканировать такие объекты, какие необходимо применить приемы для упрощения процесса сканирования. Получить готовые 3D-модели
5. Проведение сканирования с помощью функции «сканирование по трем точкам»	В ходе представленной работы необходимо провести более сложное сканирование. Некоторые объекты могут сканироваться не совсем корректно, для устранения всех дефектов нужно прибегнуть к функции, «сканирование по трем точкам». Функция помогает сформировать 3D-модель правильно. Необходимо научиться пользоваться этой функцией и получить корректную 3D-модель
6. Постобработка готовых 3D-моделей в программе Netfabb basicv 5.2	В результате работы необходимо провести постобработку готовых 3D-моделей, которые были получены ранее. В работе нужно научиться пользоваться программой Netfabb basic. Далее нужно получить готовую 3D-модель, которую в последующем можно будет напечатать на 3D-принтере

1	2
7. Изучение и подготовка 3D-принтера. Установка на ПК программ слайсеров, калибровка, заправка пластика	В ходе выполнения данной лабораторной работы должны быть изучены особенности строения и управления 3D-принтером, подготовка 3D-принтера к печати, его настройка, калибровка и заправка пластиком. Также на ПК участников должны быть установлены программы, необходимые для подготовки 3D-моделей к запуску в печать, и изучены их функции
8. Освоение печати простых 3D-моделей по заданным параметрам согласно алгоритму	В ходе выполнения данной лабораторной работы участники должны по заранее заданным в пособии параметрам подготовить и произвести печать простой 3D-модели без сложных элементов и структур
9. Исследование параметров 3D-печати	В ходе выполнения данной лабораторной работы участники, изменяя параметры печати одной и той же модели, должны провести ряд опытных запусков печати, после чего провести анализ полученных результатов
10. Подбор параметров слайсера для печати моста	В ходе выполнения данной лабораторной работы участники должны провести печать одной модели моста по заданным параметрам, провести анализ полученных результатов и затем самостоятельно, путем проб и ошибок подобрать такие параметры печати второй модели моста, чтобы в итоге получить натуральную модель приемлемого качества
11. Подбор параметров слайсера для печати поддержек	В ходе выполнения данной лабораторной работы участники должны провести подготовку к печати одной модели в разных программах-слайсерах (Cura и Slic3R), ознакомиться с возможностями настройки поддержек и провести две пробные печати, после чего проанализировать готовые результаты
12. Постобработка готовой модели	В ходе выполнения данной лабораторной работы участники должны провести печать тестовых моделей из двух видов пластика, освоить отделение модели от стола и отделение поддержек от модели. Ученики должны экспериментальным путем выяснить, являются ли полученные в результате 3D-печати модели герметичными

ЛИТЕРАТУРА

1. Зачем и кому нужен 3D-сканер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vestnikk.ru/useful/> (дата обращения: 07.06.2020).
2. 3D-сканирование, 3D-протипирование различных трехмерных объектов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.altstu.ru/structure/unit/cms/article/3d_objects/ (дата обращения: 08.06.2020).

3. Семиглазов В.А., Валова А.С., Ильина О.Д. Разработка компетентностной карты набора программ ДПО «Управление предприятием сервиса» // Электронные средства и системы управления: матер. докл. XIII междунар. науч.-практ. конф. (29 ноября – 1 декабря 2017 г.): в 2 ч. – Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2017. – С. 112–114.

4. Иванова Е.В., Ильина О.Д., Тамарова А.О. Разработка учебно-тематического плана программы ДПО «3D-сканирование. Обработка изображений после сканирования» // Научная сессия ТУСУР–2018: матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 16–18 мая 2018 г.: в 5 ч. – Томск: В-Спектр, 2018. – Ч. 1. – С. 132–134.

5. Андрийчук Л.Н., Семиглазов В.А. Применение 3D-технологий в школьной образовательной среде // Электронные средства и системы управления: матер. докл. XV Междунар. науч.-практ. конф. (20–22 ноября 2019 г.): в 2 ч. – Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2019. – С. 168–170.

6. 3D-сканирование. Применение технологий в бизнесе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kd3d.ru/> (дата обращения: 25.06.2020).

7. Как 3D-сканирование решает вопросы контроля качества [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blog.iqb.ru/> (дата обращения: 25.06.2020).

УДК 621.396.74

РАДИО В ТОМСКЕ И ОБЗОР ОСНОВНЫХ ФУНКЦИЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ НА РАДИОВЕЩАТЕЛЬНОМ ОБОРУДОВАНИИ

А.В. Яценко, магистрант каф. ТУ

*Научный руководитель М.И. Курячий, доцент каф. ТУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, nastya-yashenko@mail.ru*

Представлены история создания радио в России в 1895 г. А.С. Поповым, включение впервые радио в г. Томске 1928 г. и выпуск вещания по настоящее время. Представлен путь информации от корреспондента до передатчиков глазами электромеханика в группе радиовещательного оборудования в ГТРК «Томск». Рассмотрено основное оборудование радиовещательной группы, используемой для выхода качественного эфира.

Ключевые слова: радио, обработка сигналов, радиовещательное оборудование.

В 2020 г. исполнилось 125 лет со дня возникновения самого быстрого и в большинстве случаев не знающего расстояний средства общения между людьми – радио. День рождения радио отмечается 7 мая [1].

История образования радио в Томске берет свое начало в 1944 г., в связи с образованием Томской области принимается решение об ор-

ганизации областного комитета по радиофикации и радиовещанию. Однако фактическое радиовещание в Томске осуществлялось с 1928 г. [2].

Путь радио сейчас от записи на репортажный диктофон до передатчика радиослушателя занимает гораздо меньше времени, чем в годы становления радиовещания. Цифровой рекордер фирмы TASKAM DR 05, так называемый диктофон, позволяет записать несколько часов аудиоматериала с хорошим качеством, далее данные обрабатываются в звуковом редакторе ADOBE AUDITION CS 5.5. Обработка аудиоматериала включает в себя редакцию, удаление ненужных моментов и подготовку в таком виде, который услышит слушатель. После этого материал отправляется звукорежиссеру и назначается время выхода его в эфир. Звукорежиссер оценивает качество материала, т.е., удаляет дополнительные шумы и помехи. Далее, инженер радиовещательного оборудования контролирует на спектр частоты и звук. Таким образом, в эфир радио может выходить как стерео, так и монозвук. Если противофазный сигнал упал по уровню, то произошел «брак», инженер исправляет его или не дает разрешение на дальнейшее использование материала. Аудиофайл допускается к эфиру в формате MP3, 48 кГц.

Компания ГТПК «Томск» вещает цифровой сигнал (AES), но со спутника поступают и цифровой, и аналоговый сигналы на коммутатор (AEQ BC2000 Audio Routing Mixing and Processing System). Аналоговый сигнал представляет собой альтернативу, которая выпускается при необходимости. Например, при ремонтных работах в Томском областном радиотелевизионном передающем центре (ОРТПЦ) исчезает AES на тюнере (SCOPUS IRD 2900), в ГТПК «Томск», тогда экстренно подключается аналоговый сигнал с помощью компьютерной программы BC2000 Matrix RealTime Control. Вещание идет круглосуточно по трем каналам («Радио Россия», «Радио Маяк», «Радио Вести»), автоматически сохраняется и архивируется на винчестере сервера (Логгер) на протяжении года.

Управление и контроль за коммутатором осуществляются электромеханиками с программы BC2000 Matrix RealTime Control, на которой отображают уровни входа и выхода звука.

Задача автора состоит в том, чтобы определить, какой сигнал более качественный для передатчиков радиослушателей, следить за уровнями и выдавать в эфир врезки местных новостей с помощью программы вещания Djln. Обе программы работают круглосуточно и не требуют перезагрузок, но требуют особого внимания для того, чтобы радиослушатели получали качественные и своевременные врезки новостей.

Современную систему массовой коммуникации невозможно себе представить без радиовещания. Обладая признаками всеохватности, массовости, доступности, радио стало привычным атрибутом жизни современного человека [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Блохин А.В. У истоков изобретения радио: учеб. пособие / под ред. О.А. Гусева. – Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2016. – 107 с.
2. Всероссийская государственная телевизионная и радиовещательная компания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tvtomsk.ru> (дата обращения: 04.03.2021).
3. Клюев Ю.В. Радиожурналистика: основы профессии: учеб. пособие. – СПб.: Изд. центр «Академия». Ин-т Высш. шк. журн. и масс. коммуникаций, СПбГУ, 2015. – 151 с. – http://jf.spbu.ru/upload/files/file_1443169013_7294.pdf

ПОДСЕКЦИЯ 1.5

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ ШИРОКОПОЛОСНОГО БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА

Председатель – Рогожников Е.В., доцент каф. ТОР, к.т.н.

УДК 621.396.4

ФОРМИРОВАНИЕ ЛУЧА В СИСТЕМАХ MASSIVE MIMO ДЛЯ СЕТЕЙ 5G NR

П.А. Абенова, аспирант каф. ТОР

*Научный руководитель Е.В. Рогожников, доцент каф. ТОР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, abenova.pa@gmail.com*

Представлен обзор методов формирования луча в системах Massive MIMO для 5G NR. Рассмотрены конфигурация антенны и алгоритм обработки. Описаны преимущества и недостатки систем Massive MIMO.

Ключевые слова: формирование луча, диаграмма направленности, Massive MIMO, 5G NR, методы обработки сигнала.

Темпы внедрения 5G ускорились в течение 2020 г. благодаря многочисленным сетевым разработкам и поддержке устройств. По данным исследования Ericsson Mobility Report [1], на сети связи пятого поколения (5G) придется 4 из 10 мобильных подключений в 2026 г., а количество подключений достигнет 3,5 млрд. Самой обсуждаемой проблемой систем 5G является реализация Massive MIMO (многоантенные системы) с формированием диаграммы направленности (ДН) антенны.

Главное преимущество Massive MIMO перед традиционными системами MIMO состоит в возможности формирования множества лучей в многопользовательском режиме (multi-user Massive MIMO), при котором потоки данных передаются заранее назначенным пользователям. Применение формирования луча в системах Massive MIMO имеет следующие преимущества: повышенная энергоэффективность, улучшенная спектральная эффективность, повышенная безопасность системы и применимость в миллиметровом диапазоне [2].

Есть два важных аспекта при разработке подобных систем для 5G. Один из них – это конструкция антенны, а другой – методы обработки сигнала.

Как правило, конструктив систем Massive MIMO основан на многоэлементных антенных решетках, которые обычно имеют десятки, сотни или даже тысячи антенн, построенных по линейной, цилиндрической, прямоугольной или же распределенной топологии.

Использование цилиндрической конструкции позволяет достичь распознавания входящих сигналов в двух измерениях, однако с применением линейной конструкции с таким же количеством антенных элементов можно добиться большей точности азимутального разрешения, но лишь в одном измерении, что показано на рис. 1 [3].

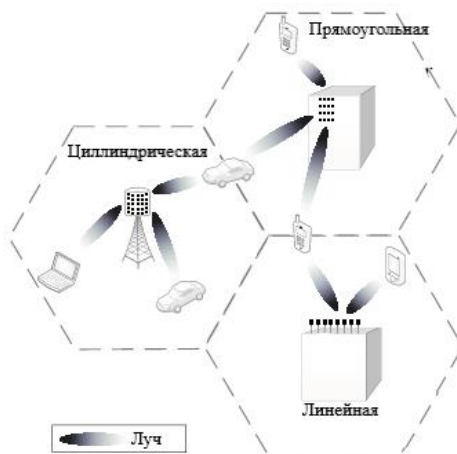


Рис. 1. Различные варианты конструкций антенных систем Massive MIMO

Формирование луча обычно делится на коммутируемое и адаптивное. Реализация системы с коммутируемым формированием ДН подразумевает использование определенного количества лепестков в ДН и переключение между ними во время соединения. Существует несколько методов переключаемого формирования луча, основанных на матрицах Батлера, Бласса или Вулленвебера.

В системах с адаптивной антенной решеткой нет заранее определенных лучей, но диаграмма антенны адаптивно меняет свою форму и направление в сторону каждого выделенного пользователя. Данный метод подразумевает адаптивную подстройку весовых коэффициентов w_k для направления максимума ДН в сторону пользовательского оборудования и одновременного подавления сигнала во всех других направлениях. Соответствующие веса w_k можно описать как $w_k = p_k e^{j\varphi_k}$, где p_k – модуль коэффициента усиления, а φ_k – фазовый сдвиг сигнала в k -м канале антенны [4].

С учетом ДН антенны принимаемый и передаваемый сигналы базовой станции могут быть описан следующим образом [5]:

$$x_k = \sum_{k=1}^M w_{Txk} \hat{X}_{BS}, \quad y_k = \sum_{k=1}^M w_{Rk}^* h_k \hat{X}_{UE} + w_{Rk}^* n,$$

где x_k – переданный сигнал от антенны базовой станции (БС); y_k – принятый сигнал в БС; M – количество антенных элементов на БС; w_{Txk} и w_{Rk} – соответствующие весовые коэффициенты; h_k – коэффициент затухания k -го канала; n – аддитивный белый гауссовский шум $(0, \sigma_n)$ с нулевым средним распределением и дисперсией σ_n .

Таким образом, формирование луча – это метод подбора весовых коэффициентов каждого канала как для передачи, так и для приема. Для вычисления оценок переданных комплексных символов могут использоваться различные методы обработки сигнала, например, метод максимального правдоподобия (MF), метод с нулевого форсирования (ZF) или метод минимума среднеквадратической ошибки (MMSE).

Основная идея алгоритма максимального правдоподобия состоит в том, чтобы максимизировать отношение сигнал/шум путем адаптации веса w к каналу передачи h . Приемники MF выгодны тем, что упрощают обработку сигналов, однако не учитывают эффекты многопользовательских помех. Тем самым область использования данного метода с высокой помехоустойчивостью ограничена системами связи с небольшим количеством передающих антенн и низкими порядком модуляции.

По сравнению с ними алгоритм обработки сигналов ZF учитывает многопользовательские помехи в своих расчетах, но не учитывает шумовые эффекты. Данный алгоритм решает проблему оптимизации трактов передачи и приема, сводя к минимуму математическое ожидание среднеквадратичной ошибки между исходным сигналом.

Основная задача линейного метода MMSE – уменьшить среднеквадратичную ошибку оцениваемого сигнала по сравнению с переданным сигналом. Метод MMSE работает немного лучше, чем ZF, но на приемнике должна быть известна дисперсия шума. Этот недостаток не влияет на обычные системы MIMO, но создает большую сложность для систем с большим количеством антенн. Таким образом, большинство недавних исследований было сосредоточено на исследовании метода обработки ZF для массивных систем MIMO.

Выводы. Адаптивное формирование диаграммы направленности больше подходит для массивных систем MIMO, чем переключаемое формирование диаграммы направленности, из-за ее способности устранять помехи и снижать энергопотребление. Оптимальное фор-

мирование луча для массивных систем MIMO может быть достигнуто правильно подобранной конструкцией антенной решетки с оптимальными алгоритмами обработки сигнала. Успешное решение этих проблем позволит повысить скорость передачи данных и пропускную способность в сотни раз в соответствии с требованиями IMT-2020.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ericsson. Ericsson Mobility Report. – November 2020. – <https://www.ericsson.com/en/mobility-report/reports/november-2020>
2. Ali E. et al. Beamforming techniques for massive MIMO systems in 5G: overview, classification, and trends for future research // Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering. – 2017. – Vol. 18, No. 6. – P. 753–772.
3. Gao X. et al. Massive MIMO performance evaluation based on measured propagation data // IEEE Transactions on Wireless Communications. – 2015. – Vol. 14, No. 7. – P. 3899–3911.
4. Bakulin M.G., Varukina L.A., Kreyndelin V.B. MIMO technology: principles and algorithms. – Moscow: Goryachaya Liniya–Telekom,– 2014.
5. Stepanets I., Fokin G., Müller A. Beamforming Techniques Performance Evaluation for 5G Massive MIMO Systems // CERC. – 2019. – P. 57–68.

УДК 621.376.32

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ РАДИОСИГНАЛА В СООТВЕТСТВИИ СО СТАНДАРТОМ МОДУЛЯЦИИ LORA

М.С. Челпанов, студент каф. ТОР

*Научный руководитель Е.В. Рогожников, доцент каф. ТОР, к.т.н.
г. Томск, TUCVP, chelpmm@gmail.com*

Предложен метод формирования символов модуляции LORA, основанный на методах модуляции с расширенным спектром. Описан процесс формирования символа модуляции, а также его демодуляции. Все процессы сопровождаются графиками.

Ключевые слова: LORA, UpChirp, DownChirp, согласованная фильтрация, линейная частотная модуляция.

LORA (Long Range) – технология модуляции глобальной сети с низким потреблением. Данный метод основан на методах модуляции с расширенным спектром, в частности, с линейной частотной модуляцией. При этом частота может как увеличиваться (UpChirp), так и уменьшаться (DownChirp). На рис. 1 представлены UpChirp- и DownChirp-сигналы.

Предпосылками использования данного метода модуляции являются низкое потребление, высокая помехоустойчивость, возможность использования данного вида модуляции без специального частотного разрешения и платы за радиочастотный спектр.

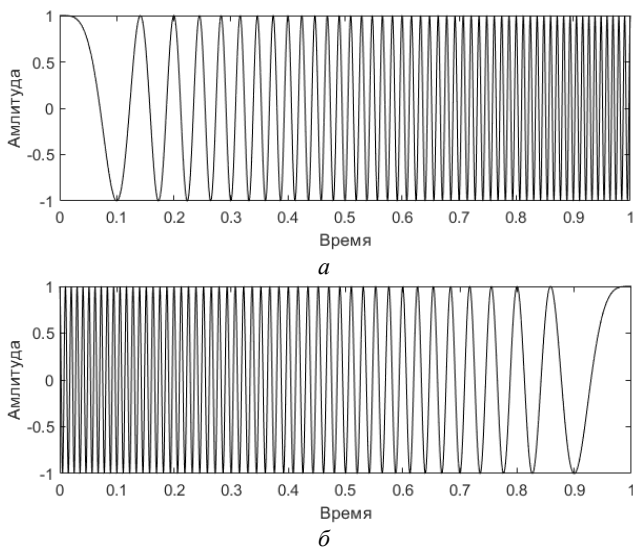


Рис. 1. UpChirp- (а) и DownChirp-сигнал (б) с линейной частотной модуляцией

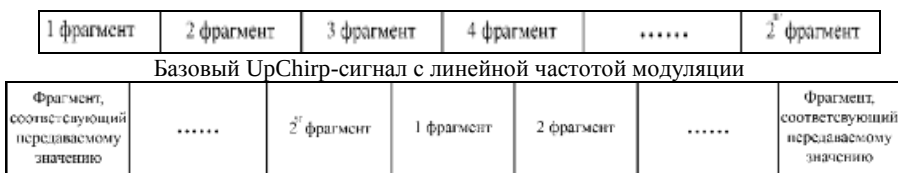
Сигналы с данным видом модуляции можно декодировать при отрицательных значениях отношения сигнал/шум. Также система с таким видом модуляции ввиду своего малого энергетического потребления может питаться от батареек.

Формирование символа модуляции проводится следующим образом: базовый UpChirp-сигнал разбивается на равные части, количество которых определяется разрядностью, определяемое коэффициентом расширения спектра (SF). Параллельно с этим передаваемые биты группируются в новое значение, которое будет соответствовать выбранной разрядности. Далее происходит перенос фрагментов в конец символа, начиная с первого, до фрагмента, соответствующего значению, которое необходимо передать. Далее сигнал переносится на несущую частоту.

На рис. 2 показан формат символа с модуляцией LORA.

Выходной символ модуляции показан на рис. 3.

Демодуляции такого символа основаны на использовании согласованной фильтрации между принятым сигналом и DownChirp-сигналом, который имеет зеркальное отображение во временной области базового UpChirp-сигнала. На рис. 4 показан результат перемножения принятого сигнала на опорный DownChirp, а также спектральное отображение перемножения.



Входной символ модуляции
Рис. 2. Формат символа модуляции

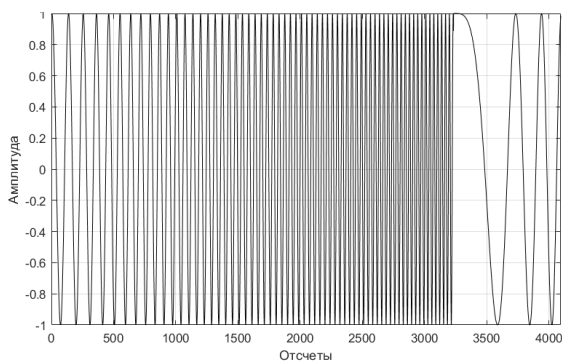


Рис. 3. Выходной символ модуляции

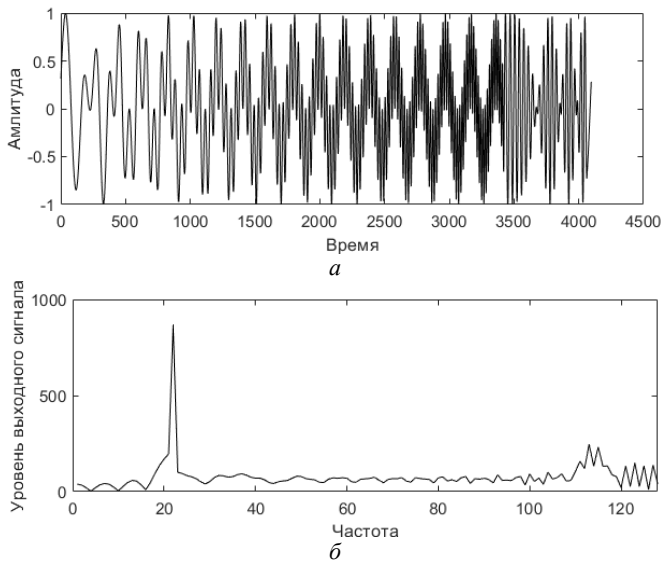


Рис. 4. Демодуляция LORA: a – временное представление,
 b – спектральное представление

Принятие решения о переданном значении происходит по максимуму результата перемножения сигналов в спектральной области. Из рис. 4, б можно сделать вывод, что переданное значение находится на 22-м отсчете.

ЛИТЕРАТУРА

1. Semtech «AN1200.22, LoRa modulation basics», Application Note, 2015.
2. Обзор технологии LORA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://itechinfo.ru/content/обзор-технологии-lora>, свободный (дата обращения: 16.02.2021).
3. Тисленко В.И. Статистические методы обработки сигналов в радиотехнических системах. – Томск: Том. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. – 245 с.

УДК 621.376.9

ОБОЗР ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ПИК-ФАКТОРА В СИСТЕМАХ С ОРТОГОНАЛЬНЫМ ЧАСТОТНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ

О.Е. Морозова, магистрант каф. ТОР

*Научный руководитель Е.В. Рогожников, доцент каф. ТОР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, evgenii.v.rogozhnikov@tusur.ru*

Приведены методы снижения пик-фактора OFDM-сигнала в целях повышения производительности общей системы, такие как частичная последовательность передачи (PTS) и выборочное отображение (SLM). Данные методы позволяют значительно уменьшить значение пик-фактора в OFDM-системах.

Ключевые слова: мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов, снижение пик-фактора, частичная последовательность передачи (PTS), выборочное отображение (SLM).

Мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM) – это модуляция с несколькими несущими (MCM), которая хорошо зарекомендовала себя в системах четвёртого поколения (4G). OFDM имеет высокую спектральную эффективность, невосприимчивость к задержке из-за многолучевого распространения, низкие межсимвольные помехи (ISI), устойчивость к частотно-избирательным замираниям и высокую энергоэффективность. Но вместе с тем недостатком системы OFDM является очень высокое значение пик-фактора, что приводит к нелинейным искажениям и ухудшению характеристик системы [1].

Существует несколько методов снижения пик-фактора [2].

1. Методы скремблирования сигналов:
 - методы блочного кодирования,
 - схема блочного кодирования с исправлением ошибок,
 - выборочное отображение (SLM),
 - частичная последовательность передачи (PTS),
 - техника чередования,
 - резервирование гармоник (TR),
 - введение гармоник (TI).
2. Методы изменения формы сигнала:
 - пиковое окно,
 - пиковая несущая способность,
 - отсечение и фильтрация.

Одними из простых методов являются ограничение и фильтрация, которые позволяют ограничить сигнал на передатчике со значениями пик-факторов выше определённого уровня. Но данный процесс вносит нелинейные искажения, которые приводят к внеполосному шуму [3].

Самыми эффективными методами являются SLM- и PTS-методы. Ниже рассмотрены блок-диаграммы этих методов.

На рис. 1 приведена базовая блок-диаграмма метода снижения пик-фактора выборочным отображением [4].

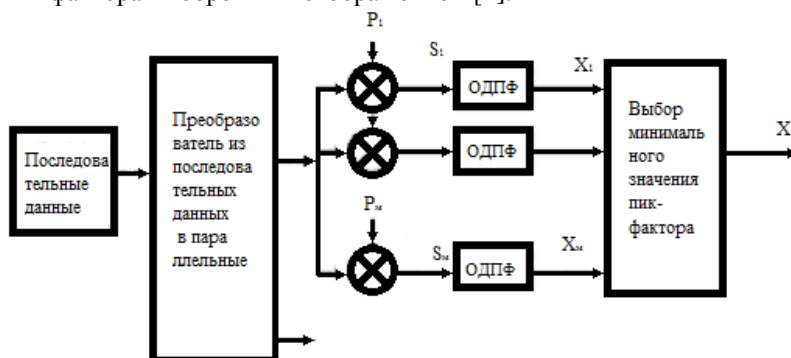


Рис. 1. Блок-диаграмма техники выборочного отображения

Основной идеей метода PTS является деление OFDM-последовательностей на несколько подпоследовательностей и умножение каждой подпоследовательности на разные весовые коэффициенты, пока не будет выбрано оптимальное значение. На рис. 2 приведена блок-диаграмма данного метода [5].

Алгоритмы SLM и PTS очень похожи, а также не несут никаких искажений системе. Разница в том, что SLM применяет чередование

скремблирования ко всем поднесущим независимо, в то время как методы PTS применяют скремблирование только к части поднесущих.

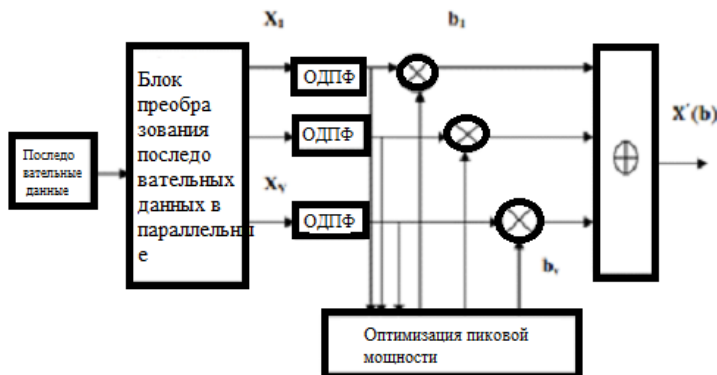


Рис. 2. Блок-диаграмма метода PTS

OFDM – очень эффективный метод для беспроводной связи, но высокий уровень пик фактора является существенным недостатком, поэтому очень важно его снижать. В результате данной статьи были рассмотрены основные методы снижения пик-фактора, выделены самые эффективные из них. В дальнейшем будут реализованы алгоритмы SLM и PTS в среде Octave и проведён сравнительный анализ на основе результатов моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wu Y., Zou W.Y. Orthogonal frequency division multiplexing: A multi-carrier modulation scheme // IEEE Transactions on Consumer Electronics. – 1995. – Vol. 41, No. 3. – P. 392–399.
2. Kuang Yu-jun, Teng Yong. A new symbol synchronization scheme for cyclic prefix based systems // The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications.
3. Cooper G.R., Nettleton R.W. A spread-spectrum technique for high-capacity mobile communications // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 1978. – T. 27, № 4. – С. 264–275.
4. Mhatre K., Khot U.P. Efficient selective mapping PAPR reduction technique // Procedia computer science. – 2015. – Vol. 45. – P. 620–627.
5. Cimini L.J., Sollenberger N.R. Peak-to-average power ratio reduction of an OFDM signal using partial transmit sequences // IEEE Communications letters. – 2000. – Vol. 4, No. 3. – P. 86–88.

ПОДСЕКЦИЯ 1.6

РОБОТОТЕХНИКА

Председатель – Коцубинский В.П., доцент каф. КСУП, к.т.н.

УДК 681.571

РЕЗУЛЬТАТ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ПЕРЕВОДУ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ С ОБЫЧНЫХ КОЛЕС НА OMNI-КОЛЕСА

В.А. Козлюк, Н.А. Коновалов, Д.Е. Бурмасов, студенты каф. КСУП
Научный руководитель В.П. Коцубинский, доцент каф. КСУП, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, qarinindi@gmail.com

Определяется эффективность перехода роботизированной платформы с обычных колес на omni-колеса.

Ключевые слова: omni-колеса, принцип Аккермана, экономия ресурсов.

Механика перемещения предмета, оснащенного колесом, оставалась неизменной тысячелетия с момента изобретения колеса. Обычное привычное нам колесо имеет только две степени свободы – может вращаться вперед и назад, т.е. является строго направленным. Вместе с тем для современных роботов, используемых в разных областях, важно обеспечить большую мобильность – это достигается либо за счет рулевого управления Аккермана, закрепив по боковым сторонам базы (платформы) колеса, либо за счет однобортного управления. Принцип Аккермана в целом определяет геометрию рулевого управления, которая применима для любых современных транспортных средств, включая робототехническую платформу, с целью обеспечения корректного угла поворота рулевых колес при прохождении поворота или кривой. Угол бокового увода определяется различием между углом поворота колеса и действительным направлением движения колеса, а механизм создания угла бокового увода зависит от настроек подвески шасси. В разрабатываемой платформе под рулевым управлением Аккермана подразумевается реализация рулевого рычага, что при надлежащем направлении движения обеспечивает стабильное управление без чрезмерного износа и нагрева колес. Есть два варианта реализации указанного принципа:

- работа моторов с максимальной мощностью – при этом вращающий момент моторов, в сторону которых будет производиться поворот, направлен назад, на противоположной стороне – вперед;
- снижение мощности мотора с той стороны, куда производится поворот, и увеличение мощности на противоположной.

Использование omni-колес позволяет более маневренно передвигаться по местности, например перпендикулярно к обычному направлению. Основной недостаток заключается в плохом сцеплении с поверхностью, что проявляется при прохождении препятствий по неровному основанию.

В данном эксперименте рассматривается модель шестиколесного механум-робота, колеса которого расположены в 2 ряда вдоль стороны прямоугольного корпуса, так, как это показано на рис. 1.

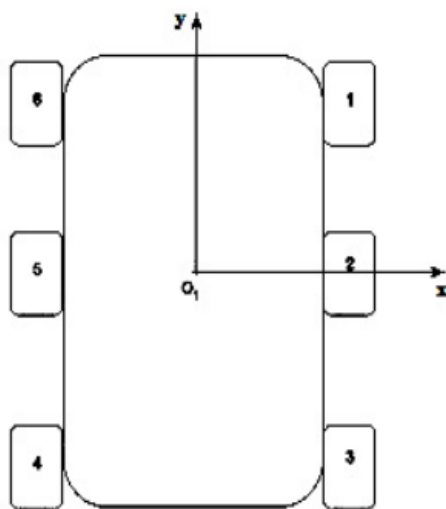


Рис. 1. Модель робота с механум-колесами

Учитывая особенности конструкции механум-колес, стоит отметить, что они могут иметь при монтаже на корпусе разную ориентацию.

Основная задача проектирования состоит в том, чтобы экспериментально определить время установившегося режима и угол разворота при переходе с обычных колес на механум-колеса.

Результаты эксперимента приводятся ниже.

В качестве примера для прогнозирования траектории зададим точки $(0, 0)$, $(1, 2)$, $(3, 1)$, $(5, 5)$. При прогнозировании траектории получили следующий результат, представленный на рис. 2, 3.

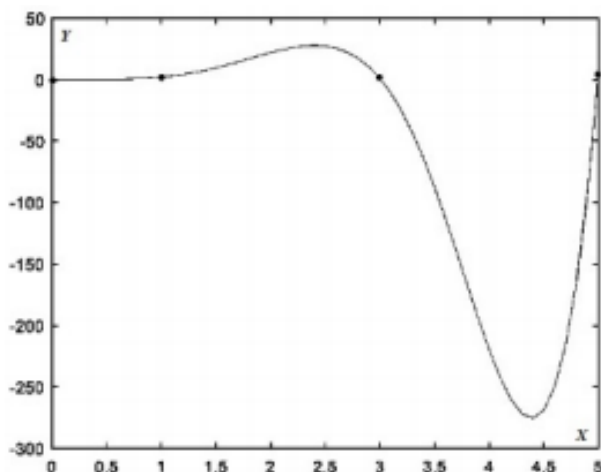


Рис. 2. Траектория, полученная в исходном эксперименте

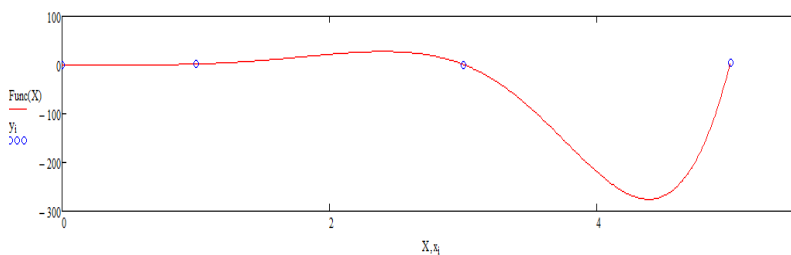


Рис. 3. Траектория, полученная в результате эксперимента на меканум-колесах

Как можно заметить, исходная траектория и траектория, полученная при повторе эксперимента, являются схожими. Это свидетельствует о том, что система прогнозирует траекторию верно.

Из прилагаемых графиков видно, что время поворота уменьшилось в два раза, что позволяет экономить ресурс батареи и повысить мобильность робота, опосредованно сократить угол разворота.

ЛИТЕРАТУРА

1. Типы колес мобильных роботов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://robotosha.ru/robotics/wheel-types-mobile-robots.html> (дата обращения: 18.02.2020).
2. Винник А.Е., Хабибулина Н.Ю. Моделирование процесса движения мобильного робота // Электронные средства и системы управления: матер.

докладов XIV Междунар. науч.-практ. конф., 28–30 ноября 2018 г. – Томск: В-Спектр, 2018. – Ч. 2. – С. 251–254.

3. Винник А.Е., Хабибулина Н.Ю. Моделирование процесса движения механум-робота с учетом препятствий // Современные технологии в науке и образовании. – СТНО– 2018: Сб. тр. междунар. науч.-техн. форума: в 11 т. / Под общ. ред. О.В. Миловзорова. – 2018. – С. 142–147.

УДК 681.571

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ В РОБОТОТЕХНИКЕ

Н.А. Лыспак, Д.С. Ботов, А.А. Деев, студенты каф. КСУП

Научный руководитель В.П. Коцубинский, доцент каф. КСУП, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, kvp@kcup.tusur.ru, deev.a.538@e.tusur.ru,

lyspak.n.588-3@e.tusur.ru, botov.d.538@e.tusur.ru

Проект ГПО КСУП-1801 «Экстремальная робототехника»

Дан обзор решений определения объекта с помощью технического зрения.

Ключевые слова: техническое зрение, нейросеть, Виола–Джонс.

Человеческий глаз – уникальная оптическая система, на создание которой эволюция потратила миллионы лет. Однако так же, как в биологическом мире, человеческий глаз, будучи уникальным техническим явлением на фоне зрения простейших и многих млекопитающих, на фоне зрения моллюсков, является примитивным, в техническом мире простейшие оптические системы, берущие свое начало от телескопа Галиллея, на фоне современных цифровых оптических систем кажутся примитивными. Задача разработки современных технических визуальных систем – актуальная задача XXI в. с широчайшей областью применения – от автоматизированного контроля продаж до военных систем. Вместе с тем получение «картинки» без ее интерпретации – это только одна часть задачи, поэтому не менее важным, чем создание качественной оптики, является разработка эффективного метода распознавания этой «картинки», ведь сегодня методы распознавания образов находят практическое применение в различных сферах человеческой деятельности [1].

Машинное зрение – раздел робототехники, который использует анализ изображений для решения промышленных задач. Оптический прибор (цифровая камера высокого разрешения) отвечает за получение образа объекта, а ЭВМ с помощью специализированного ПО, работающего по заданному алгоритму, – за его обработку.

Характеристики объекта можно заложить в алгоритм двумя способами:

1. Построить модель объекта и тем самым описать его в виде математических формул.

2. Действовать методом «подобное с подобным» – т.е., используя машинное обучение, обучить нейронную сеть, используя в качестве образов фотографии похожих объектов.

Нейросеть – это математическая модель в виде программного и аппаратного воплощения, строящаяся на принципах функционирования биологических нейросетей [2]. На сегодняшний день такие сети активно применяют в практических целях за счет возможности не только разработки, но и обучения. Нейросети требовательны к размеру и качеству датасета, на котором она будет обучаться. Датасет можно загрузить из открытых источников или собрать самостоятельно.

Очевидно, что задачи представляют собой разный уровень сложности – использование математического аппарата требует от разработчика серьезной фундаментальной подготовки, поэтому используется более простой, второй метод – т.к. существует большое количество уже заданных математических задач, которые позволяют быстро обучить нейронную сеть на требуемой предметной области.

При использовании второго метода задания характеристик объекта следует учитывать, что на определение объекта могут влиять внешние условия среды: глубина резкости, дистанция до объекта, освещение, погода (если объект находится на улице). Поэтому в системах машинного зрения зачастую используют дополнительные устройства, которые позволяют упростить задачу получения максимально качественного образа, – различные датчики: инфракрасные, фотоэлектрические, датчики движения и др. Они используются для получения дополнительной информации об объекте [3].

Чтобы не анализировать всю картинку и уменьшить количество вычислительных мощностей, представляется, что для распознавания объектов можно использовать метод Виолы-Джонса и анализ контуров. Для обучения распознаванию объектов необходимы примеры фотографий с объектом и без него.

Авторы работы в качестве прикладной задачи, разрабатывая систему машинного зрения и решая две основные задачи: адаптивность и точность, решают задачу распознавания дорожных знаков. Предлагаемое авторами решение базируется на следующем алгоритме работы:

- выбор области интереса – выделение ограничительной рамкой интересующей зоны;
- перевод цветного изображения в черно-белое;
- применение метода Canny для определения границ объектов;

– находим все контуры изображения.

Пример распознавания знака:

Первый этап. Учитывается количество углов замкнутого контура. Например, знак STOP имеет 8 углов. Знаки «Пешеходный переход» и «Главная дорога» имеют 4 угла. Знак «Уступи дорогу» – 3 угла.

Второй этап. Учитываются цвета внутри выбранного контура.

Результат распознавания представлен на рис. 1.



Рис. 1. Пример распознавания знака

Из анализа полученных данных можно сделать вывод, что обучение нейронной сети, в зависимости от выбранной архитектуры внутренних слоёв, длится значительно дольше, нежели тренировка классификаторов Виолы-Джонса. Однако если первоначальное изображение повернуто более чем на 35 градусов, алгоритм Виолы-Джонса имеет высокую вероятность ложного срабатывания. Поэтому, в актуальных системах производства с учётом их растущих потребностей в точной и однозначной интерпретации поступающих информационных потоков недопустимо использование представленных алгоритмов по отдельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Техническое зрение. Распознавание образов [Электронный ресурс]. – URL: <https://era-tehnopolis.ru/technologies/vision/> (дата обращения: 01.03.2021).
2. Нейронные сети: распознавание образов и изображений с помощью ИИ [Электронный ресурс]. – URL: <https://center2m.ru/ai-recognition> (дата обращения: 01.03.2021).
3. Машинное зрение: обзор технологии [Электронный ресурс]. – URL: <https://robodem.com/machinevision/> (дата обращения: 01.03.2021).

ПОДСЕКЦИЯ 1.7

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

*Председатель – **Шурыгин Ю.А.**, директор департамента
управления и стратегического развития ТУСУРа,
зав. каф. КСУП, д.т.н., проф.;*
*зам. председателя – **Черкашин М.В.**, декан ФВС,
доцент каф. КСУП, к.т.н.*

УДК 004.428.4

СОЗДАНИЕ C#-СОВМЕСТИМОЙ DLL ИЗ ИСХОДНОГО КОДА FORTRAN, РЕАЛИЗУЮЩЕЙ ЧИСЛЕННЫЕ КОНФОРМНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ, ДЛЯ РАСЧЕТА ПОГОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СВЯЗАННЫХ ЛИНИЙ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ НАД ПЛОСКИМ ЭКРАНОМ

В.В. Анисимов, студент каф. КСУП

*Научный руководитель А.Н. Сычев, проф. каф. КСУП, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, muternatallia@gmail.com*

Представлены описание и метод создания разрабатываемой мультязычной программной системы, реализующей численные конформные преобразования Кристоффеля–Шварца, для расчета погонных параметров связанных линий круглого сечения над плоским экраном. Приводится описание программной системы SCPACK (Fortran) и способ создания интерфейсных модулей, позволяющих объединять Fortran-коды с текстами на C#. Дается алгоритм создания новых C#-совместимых динамических библиотек dll из исходного кода на Fortran.

Ключевые слова: мультязычное программирование, конформные отображения, связанные линии, проводники круглого сечения.

В настоящий момент для анализа линий связи (полосковых и микрополосковых структур и т.д.) используется большое количество подходов, которые заключаются в определении характеристик структур по их геометрическим размерам и параметрам диэлектрического заполнения. Все они варьируются по сложности, точности и быстродействию. Получившие широкое применение электродинамические

методы показывают хорошую точность, но при этом являются самыми медленными и сложными в реализации, а также в работе используют серьезный объем ресурсов компьютера. Более быстрыми и удобными в компьютерной реализации являются квазистатистические методы, среди которых стоит отдельно выделить методику конформных отображений (далее – МКО) [1]. Данная методика основывается на методе численных конформных преобразований Кристоффеля–Шварца и позволяет выполнять анализ структур различной сложности. Суть метода преобразования заключается в отображении верхней комплексной полуплоскости во внутренность многоугольника (полигона) с помощью интеграла Кристоффеля–Шварца (ИКШ) [2].

Необходимость разработки. В данный момент ведется разработка программного продукта под названием Lines Modelling Toolbox (LMT), для данного продукта необходимы расчетные модули, которые будут вычислять погонные параметры линий исходя из физических и геометрических параметров структуры. LMT разрабатывается на языке C#, а МКО и соответственно расчет погонных параметров производятся в программе, написанной на Fortran. Исходя из этого целесообразным будет написать C#, совместимую dll на Fortran, к которой можно обращаться из основной программы.

Возможности SCPACK. Пакет программ SCPACK, написанный на Fortran, позволяет при помощи своих подпрограмм рассчитать узлы и веса для квадратурной формулы Гаусса–Якоби, решать задачу поиска параметров для константы и преобразов вершин $Z(k)$ отображения Кристоффеля–Шварца (КШ), вычислить прямое и/или обратное отображение точки [2].

Разработка динамической библиотеки. Для того чтобы на Fortran создать C# совместимую динамическую библиотеку, необходимо следовать следующему алгоритму:

- 1) оформить Fortran-код в виде subroutine (подпрограммы);
- 2) в subroutine указать имя экспортируемой подпрограммы и метод работы со стеком: с или stdcall;
- 3) указать имена и метод передачи (по значению или по ссылке) атрибутов подпрограммы;
- 4) скомпилировать подпрограмму как dll.

Для того чтобы использовать созданную библиотеку, необходимо следовать следующему алгоритму:

- 1) добавить dll в проект, любым способом помещать dll-файл к исполняемому файлу;
- 2) для вызова подпрограммы в C# необходимо создать метод с ключевым словом extern;

3) для созданного метода при помощи атрибута `dllimport` указать точку входа, имя функции, соглашение вызова и пр. [3].

Демонстрация работы библиотеки и примеры кода. Как видно на рис. 2, программа рассчитывает погонные емкость (пФ/м) и индуктивность (мкГн/м) исходя из физических параметров структуры (рис. 1), где d – диаметры двух одинаковых проводов СЛ; S – расстояние между проводами СЛ; h – расстояние от провода до «земли».

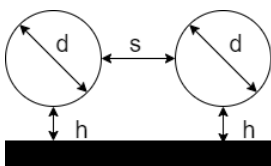


Рис. 1. Физические параметры структуры

The screenshot shows a window titled 'RDTest'. It contains input fields for parameters d , s , and h with values 9.5, 10, and 1.8 respectively. Below these is a 'Calculate' button. To the right, there are two columns of results. The first column is labeled 'C, pF/m' and shows values 67.0993 and -7.9463. The second column is labeled 'LuH/m' and shows values 0.1682 and 0.0199.

Parameter	Value	C, pF/m	LuH/m
d	9.5	67.0993	0.1682
s	10	-7.9463	0.0199
h	1.8	67.0993	0.1682

Рис. 2. Окно и результат работы тестовой программы

Код тестовой программы и созданной dll приведены на рис. 3 и 4 соответственно.

```
[DllImport("TLRoundDll.dll", CharSet = CharSet.Ansi,
    EntryPoint = "rounddownplanecall", CallingConvention = CallingConvention.Cdecl)]
public static extern void rounddownplanecall(ref double aa, ref double dl,
    ref double bc);
public Form1(...)

private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    double[] aa = new double[3]; //Ниже скрыт регион ввода данных
    ReadingDataFromATextboxes
    double[] dl = new double[4];
    double[] bc = new double[4];
    rounddownplanecall(ref aa[0], ref dl[0], ref bc[0]); //Вызов подпрограммы из dll
    //Ниже скрыт регион с результатами
    WriteResultToTextboxes
}
```

Рис. 3. Исходный код тестовой программы

Как видно из рис. 3, расчет данных происходит в методе, импортируемом из динамической библиотеки `TLRoundDll.dll`.

Как видно из рис. 4, в исходном коде `dll` определены имя экспортируемой подпрограммы, тип соглашения вызовов и метод передачи атрибутов. Также видно, что подпрограмма является своеобразным интерфейсом между Fortran и C#-кодом.

```

subroutine rounddownplaneall(aa,dL,bc)
!dec$ attributes c, dllexport :: rounddownplaneall
!dec$ attributes reference :: aa,dL,bc
real*8 aa(3),dL(4),bc(4)
call ROUNDDOWNPLANE(aa,dL,bc)
end

```

Рис. 4. Исходный код подпрограммы, являющейся точкой входа dll

Результатом работы стала C#-совместимая динамическая библиотека (dll) из исходного кода Fortran, которая, исходя из физических параметров структуры, рассчитывает погонную емкость и погонную индуктивность для связанных линий круглого сечения над плоским экраном. Также результатом работы стала C#-программа, позволяющая протестировать созданную dll.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сычев А.Н. Комбинированный метод частичных емкостей и конформных отображений для анализа многомодовых полосковых структур. – Томск: Том. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. – 138 с.
2. Trefethen L.N. SCPACK ver.2. USER'S GUIDE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.netlib.org/conformal/scdoc>, свободный (дата обращения: 5.03.2021).
3. Extern (справочник по C#) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/language-reference/keywords/extern>, свободный (дата обращения: 5.03.2021).

УДК 621.316

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ ОБЪЕКТОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Я.Ю. Малькова, студентка ОЭЭ ИШЭ

*Научный руководитель Р.А. Уфа, доцент ОЭЭ ИШЭ, к.т.н.
г. Томск, НИИ ТПУ, yamalkova96@gmail.com*

При интеграции в электроэнергетическую систему объекты возобновляемой генерации оказывают влияние на режимные параметры системы, что необходимо учитывать при проектировании новых вводов. В статье приведен пример решения задачи определения оптимальной конфигурации объектов возобновляемой генерации посредством программной реализации итерационного метода расчета перетоков и потерь мощности для четырех расчетных сценариев, отличающихся диапазоном допустимых мощностей внедряемого объекта.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, оптимальная конфигурация, итерационный метод, потери мощности.

Широта распространения объектов на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) с каждым годом планомерно увеличивается, что обусловлено, в частности, следующими причинами. Во-первых, сокращением добычи углеводородных топливных ресурсов (нефти, газа и угля) и, соответственно, повышением их стоимости. Во-вторых, причинами экологического характера, имеющими место быть в процессе эксплуатации объектов традиционной генерации. В свою очередь, объекты возобновляемой генерации, являясь доступными и надежными источниками энергии, обеспечивают поддержание текущего состояния мировой экологической обстановки, в частности, посредством соблюдения основных регламентируемых квот на выбросы.

Согласно данным, представленным в ежегодном отчете аналитических центров Agora Energiewende и Ember [1], странами-лидерами по доле производства электроэнергии объектами ВИЭ по итогам 2020 г. являются страны, приведенные на рис. 1, где доля ВИЭ в производстве электроэнергии составляет более 20%.

В России же, согласно данным, размещенным системным оператором единой энергетической системы (АО «СО ЕЭС») России [2], в 2020 г. выработка солнечными электростанциями (СЭС) составила 1982 млн кВт ч, ветряными электростанциями (ВЭС) – 1384 млн кВт ч, что в процентах от суммарной произведенной за год электроэнергии составляет 0,18 и 0,13% соответственно.

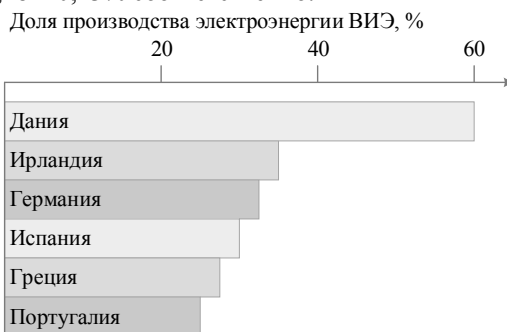


Рис. 1. Страны-лидеры по доле производства электроэнергии ВИЭ

Тем не менее, несмотря на относительно небольшую долю производства электроэнергии ВИЭ в России, суммарная установленная мощность СЭС и ВЭС составляет порядка 2,7 ГВт [2]. Таким образом, влияние объектов ВИЭ на энергосистему также подлежит изучению.

При интеграции объектов ВИЭ в электроэнергетическую систему (ЭЭС) они оказывают влияние на режимные параметры ЭЭС. Согласно результатам предшествующих работ, в частности [3], данные объ-

екты способствуют изменению перетоков активной и реактивной мощности соответственно и потерь мощности, уровня напряжения шин системы, а также величины и направления токов короткого замыкания.

Увеличение единичной установленной мощности объектов ВИЭ и их доли в суммарной установленной мощности определяет необходимость изучения влияния данных объектов на режимные параметры ЭЭС и учета результатов соответствующих исследований на этапе проектирования новых вводов.

Задачу определения оптимальной конфигурации объектов возобновляемой генерации, а именно месторасположения и мощности, для схем большой размерности, как правило, оптимизируют посредством программной реализации того или иного оптимизационного алгоритма. Целевой функцией, определяющей оптимальность решения, может выступать один контролируемый параметр или их функциональная зависимость с учетом весовых коэффициентов (вклада значения каждого параметра в значение целевой функции).

На примере типовой схемы (15 bus IEEE) [4] осуществим программную реализацию итерационного метода расчета [5] перетоков и потерь активной и реактивной мощности с последующим поиском глобального минимума целевой функции (потерь активной мощности) пузырьковым методом сортировки.

При выполнении расчетных сценариев (таблица) было учтено ограничение на отклонение относительного уровня напряжения шин системы от номинального значения (0,95...1,05 о.е.). Шаг изменения мощности объекта ВИЭ для всех случаев составил 0,1 о.е. мощности нагрузки шины установки.

Результаты расчетных сценариев

Сценарий	Потери мощности, кВт	Оптимальное месторасположение объекта ВИЭ, $i = 2...15$	Оптимальная мощность объекта ВИЭ, кВт
$P_{\text{ВИЭ}} = (0...1)P_i$	54,596	11	140
$P_{\text{ВИЭ}} = (0...2)P_i$	49,091	15	280
$P_{\text{ВИЭ}} = (0...7)P_i$	38,845	4	868
$P_{\text{ВИЭ}} = (0...8)P_i$	38,845	4	868

Таким образом, на основании результатов, представленных в таблице, можем заключить, что с увеличением диапазона допустимых мощностей внедряемого объекта ВИЭ увеличивается и оптимальное значение мощности, однако чрезмерное увеличение данного диапазона не сопровождается наличием новых оптимумов большей мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. The European Power Sector in 2020: Up-to-Date Analysis on the Electricity Transition. Agora Energiewende and Ember [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2021/2020_01_EU-Annual-Review_2020/A-EW_202_Report_European-Power-Sector-2020.pdf (дата обращения: 08.03.2021).
2. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2020 году. АО «СО ЕЭС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2021/ups_rep2020.pdf (дата обращения: 07.03.2021).
3. Малькова Я.Ю. Влияние распределенной генерации на величину токов короткого замыкания / Я.Ю. Малькова, Р.А. Уфа, А.А. Суворов // Сборник избр. статей научной сессии ТУСУР: в 2 т. – Томск: В-Спектр, 2020. – Т. 1. – С. 119–122.
4. Sudhakar T.D. Modeling and Simulation of Distribution Network with the Integration of Distribution Generator using Matlab / T.D. Sudhakar, M.R. Rajan, K.N. Srinivas, R.R. Prabu, T.V. Narmadha, and M.M. Krishnan // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9 (12). – P. 1–7.
5. Jabari F. A Novel Forward-Backward Sweep Based Optimal DG Placement Approach in Radial Distribution Systems / F. Jabari, S. Asadi, S. Seyedbarhagh // Optimization of Power System Problems. Methods, Algorithms and MATLAB Codes. – 2020. – Vol. 262. – P. 49–61.

УДК 004.94

ПРОБЛЕМА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИБЛИОТЕК МОДЕЛЕЙ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ СИНТЕЗА СВЧ-УСТРОЙСТВ

Ю.А. Новичкова, Т.Н. Файль, студенты каф. КСУП;

А.Е. Горяинов, доцент каф. КСУП, к.т.н.;

А.А. Калентьев, доцент каф. КСУП, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, yulya.novichkova21@gmail.com

Представлено описание сложности работы с библиотечными моделями компонентов, а также предложен способ упрощения работы с ними посредством ПО.

Ключевые слова: библиотека моделей компонентов, синтез СВЧ-устройств, генетический алгоритм.

Создание СВЧ-устройств является длительным многоэтапным процессом, который может занимать от 7 до 15 месяцев. В свою очередь, каждый этап выполняется не только разными людьми, но и, как правило, разными предприятиями. Для сокращения времени производства компонентов используются средства по автоматизации одного или нескольких этапов изготовления.

Например, можно автоматизировать этап проектирования, так как данную задачу можно свести к задаче структурно-параметрического синтеза с заранее определенным набором допустимых множеств структурных решений и элементов. Для этого существуют специальные модули САПР и программы синтеза СВЧ-устройств [1, 2], которые работают на основе генетического алгоритма (ГА). Чтобы повысить эффективность использования синтеза СВЧ-устройств, его можно проводить на библиотечных моделях компонентов.

Целью данной работы является исследование проблемы использования библиотечных моделей компонентов в проектировании СВЧ-устройств.

Проектирование любого компонента электрической схемы происходит в специализированных САПР с использованием как электрических, так и геометрических моделей. В процессе проектирования также применяются математические модели компонентов, в которых отражены физические процессы, протекающие в компонентах.

Стандартные модели, представленные в САПР, имеют идеалистический характер, поэтому использование их в реальных устройствах нежелательно. Это связано с тем, что при изготовлении устройства по идеальным моделям характеристики реального устройства будут расходиться с его моделью.

Чтобы минимизировать расхождение параметров реального прибора с его моделью, необходимо использовать библиотечные модели компонентов (реальные модели), в таких моделях происходит изменение топологии элемента, например, длины и ширины для резистора или количества витков для катушки индуктивности. Преимуществом таких моделей является то, что для того же резистора учитываются также паразитные факторы, которые могут наблюдаться в реальной схеме, например, токи растекания, изменение температуры элемента во время работы и т.д. Пример различия идеализированной и реальной модели резистора представлен на рис. 1.

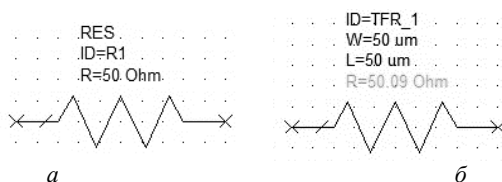


Рис. 1. Идеализированная (а) и реальная (б) модель резистора

В идеализированной модели проектировщик изначально задает только сопротивление элемента. В случае реальной модели ему необ-

ходимо варьировать, например, геометрические параметры модели, такие как длина и ширина резистора, чтобы получить необходимое сопротивление, которое рассчитывается программой автоматически, учитывая технологический процесс изготовления устройства, который заранее заложен в библиотеку компонентов.

Основной проблемой при создании различных библиотечных моделей компонентов является то, что каждая модель создается и сохраняется вручную отдельно, что отнимает у проектировщика длительное время. Чтобы исключить этот рутинный этап из работы проектировщика, его необходимо автоматизировать с помощью стороннего ПО.

Такое ПО должно взаимодействовать с САПР таким образом, чтобы, во-первых, получать список подключенных библиотек и их компонентов. Во-вторых, управлять значениями параметров каждого компонента. В-третьих, сохранять полученные электрические характеристики моделей компонентов в удобном для пользователя формате. В-четвертых, автоматически строить схемное решение в САПР на основе импортированных файлов моделей.

Преимущество использования такого ПО позволяет интегрировать библиотечные модели компонентов в работу программ синтеза СВЧ-устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горяинов А.Е. Применение генетического алгоритма в задаче синтеза линейных интегральных СВЧ-усилителей с распределенным усилением / А.Е. Горяинов, Т.Н. Файль, Ю.А. Новичкова, А.А. Калентьев, А.С. Сальников // Матер. XVI Междунар. науч.-практ. конф. «ЭССУ». – 2020.

2. Файль Т.Н. Построение моделей пассивных СВЧ-компонентов с использованием генетического алгоритма / Т.Н. Файль, Ю.А. Новичкова, А.Е. Горяинов, А.А. Калентьев, А.С. Сальников // XXV Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных «Научная сессия ТУСУР – 2020». – 2020. – Т. 1. – С. 104–105.

УДК 621.37

РАЗРАБОТКА СВЧ-ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ 0,13 МКМ КНИ-ТЕХНОЛОГИИ

С.К. Старков, магистрант каф. РСС;

А.А. Кокотов, с.н.с. ЛИКС, доцент, к.т.н. каф. КСУП

Научный руководитель Л.И. Бабак, д.т.н., проф. каф. КСУП,

зам. директора НОЦ «Нанотехнологии» ТУСУРа

г. Томск, ТУСУР, starkovsk97@gmail.com

Представлены результаты разработки SPDT СВЧ-переключателя Ку-диапазона на основе 0,13 мкм КНИ-технологии. Вносимые по-

тери данного переключателя получились меньше 1,2 дБ, достигаются в диапазоне от 0 до 16 ГГц. Уровень входной мощности IP_{1dB} равен 26 дБм, уровень развязки больше 34 дБ.

Ключевые слова: КНИ, СВЧ, переключатель, Ku-диапазон.

СВЧ-переключатели широко используются в современных радиоэлектронных системах для переключения каналов приема и передачи, в схемах управления амплитудой и фазой, для переключения диапазонов частот, изменения уровня передаваемой мощности и т.п.

Конструкции СВЧ-переключателей столь же разнообразны, как и конструкция любой другой СВЧ ИС. Варианты исполнения СВЧ-переключателя могут варьироваться в зависимости от поставленной в ТЗ задачи: узкополосные; широкополосные; с высоким уровнем изоляции; с низким уровнем вносимых потерь; с большим значением входной мощности. Зачастую эти параметры не удается совместить в одном универсальном решении.

Показателем качества работы радиочастотного переключателя обычно является произведение $R_{on} \times C_{off}$. Сопротивление во включенном состоянии R_{on} определяется в первую очередь сопротивлением затвора, когда устройство находится во включенном состоянии, соответственно, вносимые потери зависят от R_{on} . Емкость в выключенном состоянии C_{off} определяется значением емкостей стока, истока и затвора, а также паразитной емкостью на подложку, C_{off} непосредственно влияет на изоляцию. Технология КНИ является одним из наиболее удачных техпроцессов для СВЧ ИС благодаря своей низкой стоимости и высокой степени интеграции. В технологии КНИ за счет тонкого активного слоя от кремниевой подложки удастся многократно снизить паразитную емкость на подложку, следовательно, снизить C_{off} и увеличить изоляцию. Вносимые потери переключателя определяются не только сопротивлением R_{on} , но и емкостью C_{off} [2]:

$$IL \approx 10 \log \left(\left(\frac{2Z_0 + R_{on}}{2Z_0} \right)^2 + \left(\frac{Z_0(Z_0 + R_{on})\omega C_{off}}{2Z_0} \right)^2 \right), \quad (1)$$

где Z_0 – волновое сопротивление 50 Ом.

Основной задачей данной статьи является разработка СВЧ-переключателя по КНИ-технологии. Требуемые характеристики переключателя: частотный диапазон Δf : 14–16 ГГц, вносимые потери $IL < 1$ дБ, развязка $ISO < -35$ дБ, уровень входной мощности $IP_{1dB} > 26$ дБм.

Типы переключателей. На рис. 1 показаны три основных типа СВЧ-переключателей: 1) однополюсный однопозиционный (SPST); 2) однополюсный двухпозиционный (SPDT); в) однополюсный четырехпозиционный (SP4T) [1]. Более сложные конфигурации СВЧ-пере-

ключателей, например такие, как двухполюсный двухпозиционный (DPDT) и т.п., строятся на основе перечисленных конфигураций.

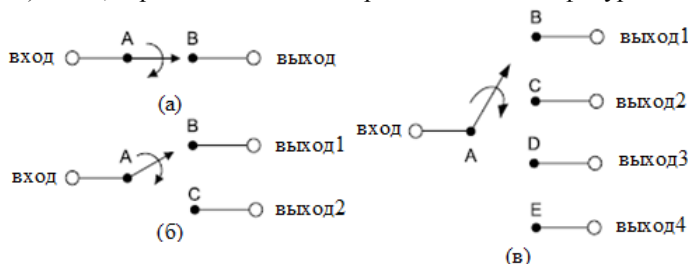


Рис. 1. Типы СВЧ-переключателей: *а* – однополюсный однопозиционный (SPST);
б – однополюсный двухпозиционный (SPDT);
в – однополюсный четырёхпозиционный (SP4T)

Существуют три основных схемы (рис. 2), которые можно использовать для построения SPDT переключателя: *а*) последовательная; *б*) параллельная; *в*) последовательно-параллельная.

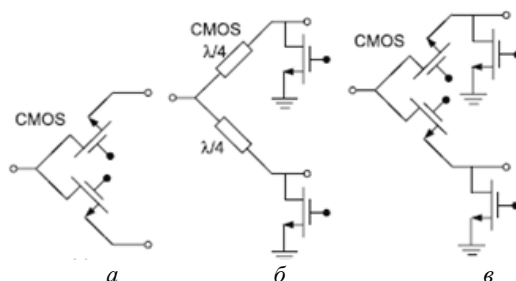


Рис. 2. Три основные схемы построения SPDT переключателя:
а – последовательная, *б* – параллельная и *в* – последовательно-параллельная

При параллельной схеме построения SPDT-переключателя (см. рис. 2, *б*) требуется $\lambda/4$ -линия в каждом плече для улучшения изоляции и согласования ключа во включенном и выключенном состоянии. Использование $\lambda/4$ -линии увеличивает габариты СВЧ-переключателя и ограничивает его полосу пропускания. Последовательно-параллельная схема построения SPDT-ключа позволяет избавиться от $\lambda/4$ -линии и позволяет улучшить значение изоляции (более чем в два раза, в дБ), чем для последовательного или параллельного переключателя [1]. Вносимые потери для последовательно-параллельной схемы хуже, чем для параллельной схемы, но лучше, чем для последовательного переключателя. Подробный анализ [1] показывает, что использование последовательно-параллельного переключателя снижает коэф-

эффициент отражения (по сравнению с последовательным переключателем) и тем самым уменьшает вносимые потери.

Выбрав последовательно-параллельную схему и стечковое включение транзисторов, ширина которых равна 500 мкм, на технологии 0,13 мкм КНИ получили схему, представленную на рис. 3.

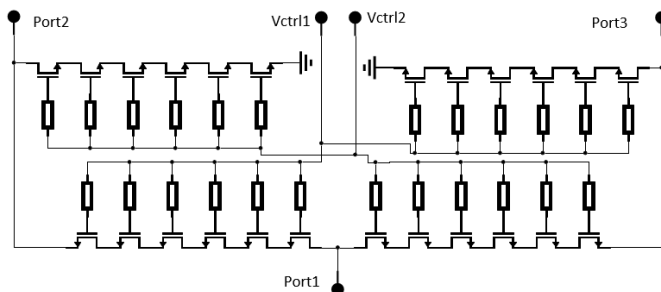


Рис. 3. Принципиальная схема SPDT-переключателя

Следующим этапом проектирования было создание топологии СВЧ-переключателя. Для более точного представления основных характеристик переключателя был проведен электромагнитный анализ топологии, разработанной СВЧ МИС.

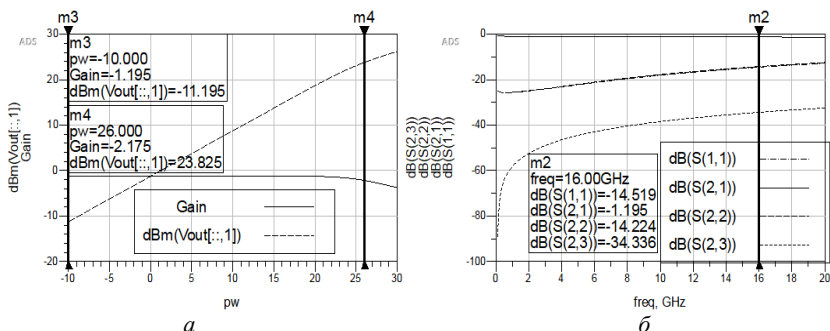


Рис. 4. Характеристики СВЧ-переключателя, полученные в результате ЭМ анализа: а – зависимости выходной мощности и коэффициента передачи от входной мощности на частоте 16 ГГц; б – S-параметры (S11 и S22 – входной и выходной коэффициенты отражения, S21 – вносимые потери, S23 – развязка)

На рис. 4 представлены характеристики СВЧ-переключателя, полученные в результате ЭМ-анализа. Разработанный SPDT-переключатель обладает входной мощностью $IP_{1dB} = 26$ дБм, вносимые потери $IL < 1,2$ дБ, развязка $ISO > 34$ дБ, отражение по входу и выходу не хуже -14 дБ. В таблице приведено сравнение характеристик аналогичных SPDT-переключателей на основе кремниевых технологий.

Сравнение характеристик аналоговых SPDT-переключателей на основе кремниевых технологий

Источник	Частота, ГГц	IL, дБ	ISO, дБ	IP _{1dB} , дБм	Технология	Площадь, мм ²
[2]	0–20	< 0,9	13	31,5	45 нм КНИ	0,009
[3]	0–20	< 0,5	15	11	180 нм КНИ	0,025
[4]	0–40	0,99	29,3	21,1	40 нм КНИ	0,46
[5]	15–18	2,3	35	21,5	180 нм КМОП	0,45
[6]	10–18	1	25	25,4	180 нм КМОП	0,06
Эта работа	14–16	< 1,2	34	26	130 нм КНИ	0,29

Исходя из таблицы, можно сделать вывод, что СВЧ у переключателей на КНИ по сравнению с КМОП-переключателями, при большем уровне входной мощности имеют меньшие потери и большую развязку. Если сравнить его с другими КНИ-переключателями, у него лучше все характеристики, кроме уровня входной мощности, тех переключателей, которые сделаны по более дорогой технологии 40 нм.

Таким образом, был разработан и реализован SPDT-переключатель со стеклом из 6 транзисторов с использованием 0,13 мкм КНИ технологии, вносимые потери < 1,2 дБ достигаются в диапазоне от 0 до 16 ГГц. Уровень входной мощности IP_{1dB} равен 26 дБм, уровень развязки >34 дБ. Размеры разработанной топологии СВЧ МИС составляют 0,29 мм² с учетом падов для подачи СВЧ-сигнала и управления. Управление SPDT-переключателем осуществляется при помощи напряжений 0 / 1,2 В.

ЛИТЕРАТУРА

1. Inder J.B. Control Components Using Si, GaAs, and GaN Technologies. – 2014. – Vol. 310.
2. Li C., Freeman G., Boenke M. et al. 1W < 0.9dB IL DC-20GHz T/R Switch Design with 45 nm SOI Process // IEEE 17th Topical Meeting on Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems (SiRF). – 15–18 Jan. 2017. – P. 57–59.
3. Cardoso A.S., Saha P., Chakraborty P.S. et al. Low-loss, wideband SPDT switches and switched-line phase shifter in 180-nm RF CMOS on SOI technology // IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS). – 19–23 Jan. 2014. – P. 199–201.
4. Chen C., Xu X., Yoshimasu T. A DC-50 GHz, low insertion loss and high P1dB SPDT switch IC in 40-nm SOI CMOS // IEEE Asia Pacific Microwave Conference (APMC). – 13–16 Nov. 2017. – P. 5–8.
5. Zhao C., Wu Y., Liu H. et al. High-Isolation CMOS T/R Switch Design Using a Two-Stage Equivalent Transmission Line Structure // IEEE Access. – 11 October 2017. – P. 22704–22712.
6. Jin Y., Nguyen C. Ultra-Compact High-Linearity High-Power Fully Integrated DC–20-GHz 0.18-μm CMOS T/R Switch // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – Jan. 2007. – P. 30–36.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАЗБОР МЕТОДА КОРПУСИРОВАНИЯ WLCSP

*Д.Р. Халиуллин, магистрант каф. РСС;
А.А. Кокотов, с.н.с. ЛИКС, к.т.н., доцент каф. КСУП
Научный руководитель Л.И. Бабак, д.т.н., проф. каф. КСУП,
зам. директора НОЦ «Нанотехнологии» ТУСУРа
г. Томск, ТУСУР, 1dan_47@mail.ru*

Дан аналитический разбор метода корпусирования WLCSP, рассмотрено поперечное сечение корпуса WLCSP, разобраны тепловые характеристики корпуса WLCSP.

Ключевые слова: корпусирование, кристалл, тепловое сопротивление.

В современном мире микроэлектроники активно используются различные методы корпусирования электронных устройств. Данные процессы являются достаточно трудоемкими, а также дорогостоящими. Растет спрос на новые методы корпусирования, так как увеличивается плотность межсоединений на плате. Помимо того, что корпус должен защищать устройство, его задачей является уменьшение паразитной индуктивности, а также корпус должен обеспечить наличие необходимых тепловых характеристик.

Корпусирование ИС является завершающей стадией создания готового продукта непосредственно перед самим тестированием микросхемы, в ходе которого полупроводниковый кристалл устанавливается в корпус. Как правило, процесс корпусирования ИС состоит из стадий прикрепления кристалла на основание или носитель кристалла, электрического соединения контактных площадок кристалла с выводами корпуса и герметизации корпуса.

На сегодняшний день немаловажным фактором при разработке корпуса является его минимизация. Как с данной задачей, так и с задачей уменьшения паразитной индуктивности хорошо справляются корпуса WLCSP.

Наиболее передовым решением корпусирования кристаллов является метод корпусирования WLCSP. WLCSP (Wafer Level Chip Scale Package) – разновидность CSP (Chip-scale Packages – корпус, соизмеримый с размером кристалла), где все этапы процесса производства ИС проводятся на уровне подложки. Результат корпусирования различных размеров интегральной схемы на кристалле показан на рис. 1. Данная технология корпусирования отличается от технологии BGA (Ball Grid Array – корпуса с шариковыми матричными вывода-

ми) и плат CSP в том, что никаких термокомпрессионных и промежуточных соединений не требуется.

Данные корпуса имеют чрезвычайно малые размеры, низкий профиль (0,82 мм max), обладают низкой чувствительностью к влажности и устойчивостью к высоким температурам. Использование технологии корпусирования WLCSP идеально подходит для приложений с жесткими требованиями к размеру устройства, так как сводит к минимуму паразитную индуктивность за счет отсутствия выводов, соединительных проводов и промежуточных подключений, а также оптимизирует размеры корпуса, стоимость и тепловые характеристики.

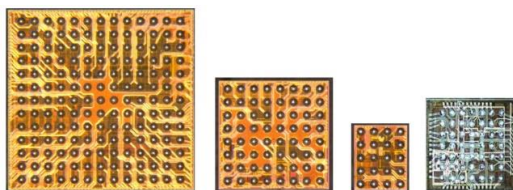


Рис. 1. Разновидность WLCSP корпусов

На рис. 2 изображен поперечный разрез корпуса WLCSP. Показаны внутренние слои WLCSP-корпусирования с отдельным слоем перераспределения между двумя диэлектрическими слоями. WLCSP состоит из первого слоя диэлектрика, проводящего металл-слоя перераспределения (для перераспределения пути сигнала от внешнего кристалла к припою) и второго слоя диэлектрика, покрывающего перераспределенный металл-слой (RDL), который поочередно распределяется во множество припоев. Шариковый вывод из припоя является сплавом без примеси свинца.

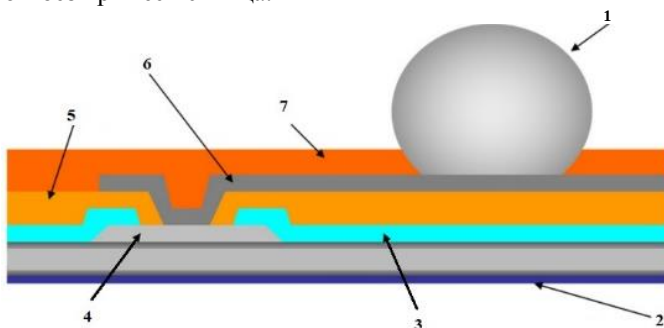


Рис. 2. Полимер – RDL WLCSP-конструкция:

- 1 – шариковый вывод из припоя; 2 – внешнее покрытие; 3 – пассивация ИС на кристалле; 4 – контактная площадка; 5 – первый диэлектрический слой;
- 6 – RDL металл-слой; 7 – второй диэлектрический слой; 8 – ИС на кристалле

Тепловые характеристики корпуса WLCSP обычно обуславливаются определением тепловых свойств, таких как $R_{\theta JA}$, $R_{\theta JMA}$, $R_{\theta JB}$, $R_{\theta JG}$ и θ_{JT} ($^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$):

1. Тепловое сопротивление кристалл – окружающий воздух $R_{\theta JA}$ (Theta Junction-to-Ambient Natural Convection) является одномерным значением, измеряющим теплопроводность от соединения (самая высокая температура на ИС на кристалле) к окружающей среде вблизи корпуса в неподвижной воздушной среде.

2. Тепловое сопротивление кристалл – движущийся воздух $R_{\theta JMA}$ (Theta Junction-to-Moving-Air Forced Convection) схоже с тепловым сопротивлением кристалл – окружающий воздух $R_{\theta JA}$, но данное соединение измеряет тепловые характеристики корпуса, на базе термической испытательной платы, в условиях воздействия движущегося воздуха (со скоростью 1 м/с).

3. Тепловое сопротивление корпус – ПП $R_{\theta JB}$ (Theta Junction-to-Board) измеряет горизонтальное распространение тепла между соединением и платой. Температура платы измеряется на верхней поверхности платы вблизи корпуса. Для измерения используется четырехслойная испытательная плата с высокой эффективной теплопроводностью (2s2p) в соответствии с JEDEC JESD51-7. $R_{\theta JB}$ часто используется клиентами для создания тепловых моделей с учетом термических свойств как корпуса, так и платы.

4. Тепловое сопротивление кристалл – корпус $R_{\theta JG}$ (Theta Junction-to-Case) указывает среднее тепловое сопротивление между кристаллом и верхней поверхностью корпуса, измеренное методом охлажденной платы в соответствии с MEC SPEC-883 Method 1012.1. $R_{\theta JG}$ может использоваться для оценки тепловых характеристик корпуса, когда плата прикреплена к металлическому корпусу или когда сделан полный термический анализ.

5. Соединение с верхней точкой корпуса Ψ_{JT} (Junction-to-Package Top) является параметром тепловых характеристик, указывающим на разницу температур между верхней частью корпуса и температурой соединения. Измеряется в неподвижном состоянии (в соответствии с JEDEC JESD51-2) или в условиях принудительной конвекции (в соответствии с JEDEC JESD51-6). Данный параметр не стоит путать с $R_{\theta JG}$. $R_{\theta JG}$ – это тепловое сопротивление от соединения устройства с внешней поверхностью корпуса, при этом поверхность корпуса поддерживается при постоянной температуре, в то время как Ψ_{JT} – это значение разности температур между поверхностью корпуса и температурой соединения, обычно при естественной конвекции [4].

На рис. 3 представлена тепловая модель чипа.

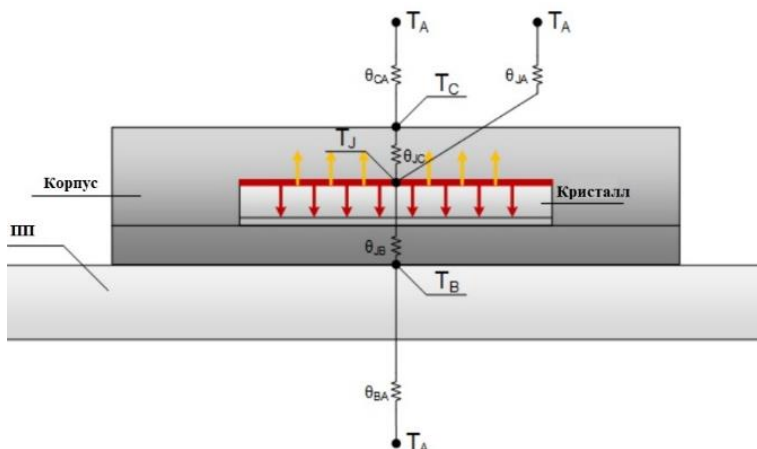


Рис. 3. Упрощенная тепловая модель чипа

Таким образом, осуществлен обзор метода корпусирования WLCSP, а также разобраны основные тепловые характеристики данной технологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Медведев А. Электронные компоненты и монтажные подложки // Технологии сборки. – 2006 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/elektronnyye-komponenty-i-montazhnye-podlozhki-postoyannaya-integratsiya/viewer> (дата обращения: 18.02.2020).
2. Автоматизированное производство электронных блоков: учеб. пособие / В.И. Волкоморов, А.В. Марков, И.О. Писклов, А.В. Кучеренко; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2013. – 89 с.
3. Ланин В., Петухов И., Волкенштейн С., Барбарчук Д. Технологические особенности монтажа Flip-Chip // Силовая электроника. – 2010. – № 4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://power-e.ru/wp-content/uploads/2010_4_78.pdf (дата обращения: 18.02.2020).
4. Wafer Level Chip Scale Package (WLCSP) / Freescale Semiconductor, Inc. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN3846.pdf> (дата обращения: 19.02.2020).

СЕКЦИЯ 2

ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

ПОДСЕКЦИЯ 2.1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИМЕДИЦИНСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ И НАНОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

*Председатель – Еханин С.Г., проф. каф. КУДР,
д.ф.-м.н., доцент;*

*зам. председателя – Романовский М.Н.,
доцент каф. КУДР, к.т.н.*

УДК 53.097

УСТРОЙСТВО ДИАГНОСТИКИ СТРЕССА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИЗМЕНЕНИЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ЧСС

И.С. Арынов, студент каф. КУДР

*Научный руководитель С.Г. Еханин, проф. каф. КУДР, д.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, iskak.arynov18@gmail.com*

Приведено описание экспериментальной установки, предназначенной для диагностики стресса человека. Устройство собрано на основе платы Arduino Uno и аналогового датчика-пульсометра. Показана перспективность использования устройства для исследований вариабельности ЧСС в зависимости от различных психофизиологических воздействий.

Ключевые слова: стресс, устройства диагностики, фотоплетизмограмма, Arduino Uno, частота сердечных сокращений (ЧСС), вариабельность сердечного ритма (BCR).

Анализ вариабельности ритма сердца издавна используется в диагностических целях в различных областях медицины. В 80-х годах это направление получило дальнейшее развитие. В это время Р.М. Баевский [1] предложил использовать для комплексной оценки вариабельности частоты сердечных сокращений (ЧСС) показатель активности регуляторных систем (ПАРС). Это обусловлено тем, что

на ЧСС влияет совместная деятельность симпатической, парасимпатической и гуморальной систем регуляции организма человека. Кроме того, ЧСС обусловлена также реакциями на ментальный, физический и иные виды стресса [2].

Таким образом, исследование variability ЧСС может давать информацию о степени напряжения регуляторных систем, а значит, может быть использовано для диагностики стрессовых состояний человека.

Проверке этого предположения и посвящены результаты данной работы.

Экспериментальная установка. Исследования частоты сердечных сокращений (ЧСС) проводились на экспериментальной установке, включающей плату Arduino Uno, построенную на базе микроконтроллера ATmega328, датчика-пульсометра и персонального компьютера [3].

Платформа имеет 14 цифровых вводов/выходов (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ), 6 аналоговых входов, кварцевый генератор 16 МГц, разъем USB, силовой разъем, разъем ICSP и кнопку перезагрузки. Для работы необходимо подключить платформу к компьютеру посредством кабеля USB или подать питание при помощи адаптера AC/DC или аккумуляторной батареи.

Рассмотрим доступный датчик для измерения сердечного ритма – Pulse Sensor. Это аналоговый датчик, основанный на методе фотоплетизмографии – изменении оптической плотности объема крови в области, на которой проводится измерение (например, палец руки или мочка уха), вследствие изменения кровотока по сосудам в зависимости от фазы сердечного цикла. Датчик содержит источник светового излучения (светодиод зеленого цвета) и фотоприемник, напряжение на котором изменяется в зависимости от объема крови во время сердечных пульсаций. Датчик имеет три вывода: VCC-5 В; GND-земля; S-аналоговый выход.

Для подключения датчика пульса к плате Arduino необходимо контакт S-датчика подсоединить к аналоговому входу Arduino. Для визуализаций фотоплетизмограммы на экране компьютера использована программа Processing.

Полученные результаты заносились в массив данных и обрабатывались по методу Р.М. Баевского.

Эксперимент проводился следующим образом: ЧСС измерялась вначале в спокойном состоянии человека, потом производилось некоторое воздействие на испытуемого (прослушивание музыки, просмотр видеороликов или физическая нагрузка).

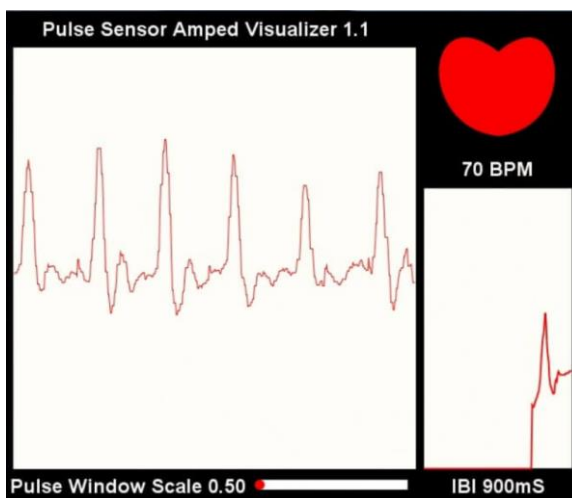


Рис. 1. Визуализация данных в Processing

В спокойном состоянии испытуемого ЧСС получилась в среднем 70 ударов в минуту. При просмотре видеороликов в жанре «комедия» ЧСС повысилась до 95 ударов в минуту. Вариабельность пульса и определение стресс-индекса определялись по методике Р.М. Баевского.

Заключение. Для реализации методики Р.М. Баевского с целью диагностики стресса по анализу вариабельности ЧСС был разработан и изготовлен макет экспериментальной установки на основе современных и доступных покупных изделий.

Проведены пробные эксперименты, показывающие, что разного рода психофизиологические внешние воздействия существенно влияют на ритмы сердца, что подтверждает действенность и чувствительность метода.

Разработанное устройство следует рассматривать как стимул к дальнейшему развитию исследований вариабельности ЧСС с целью углубления представления о механизмах и кинетике стресса человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вариабельность сердечного ритма по методике Р.М. Баевского [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://orenmiac.ru/doc/BCP_Thesis_izhevsk_2008.pdf (дата обращения: 3.03.2021).
2. История открытия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Сердечный_ритм (дата обращения: 3.01.2021).
3. Arduino [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.arduino.cc/f> (дата обращения: 3.01.2021).

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ВЕН С ПОМОЩЬЮ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Д.В. Ибрагимов, студент каф. ПрЭ

*Научный руководитель С.Ю. Хотненко, электроник каф. ПрЭ
г. Томск, ТУСУР, ghaghal93@gmail.com*

Рассматривается метод обнаружения вен при помощи оценки тене-образования путем облучения руки инфракрасным излучением с длиной волны 750–980 нм.

Ключевые слова: веновизор.

Данное устройство может быть использовано в медицинских и косметологических целях. Оно позволит: сократить время поиска вен; снизить травмируемость тканей; облегчить поиск вен у проблемной категории пациентов: ожоговые больные, онкологические больные при прохождении химиотерапии, туберкулезные больные.

Принцип работы установки основан на поглощении и отражении света [1]. При облучении человека инфракрасным излучением дезоксигемоглобин в венозной крови начинает поглощать свет, в то время как остаточное излучение отражается окружающими мягкими тканями [2], вследствие чего вены на итоговом изображении затемнены. Схема экспериментальной установки показана на рис. 1.

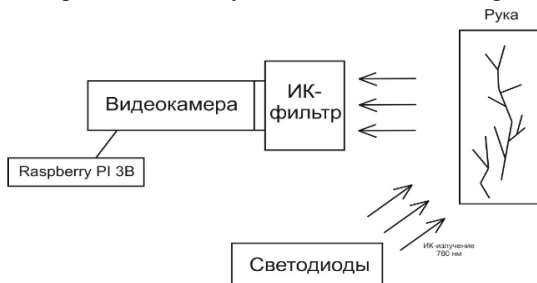


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

В приборе используются инфракрасные светодиоды с длиной волны 780 нм, инфракрасный фильтр (ИК-фильтр), одноплатный компьютер Raspberry PI версии 3В для обработки полученного изображения и видеокамера. ИК-фильтр пропускает излучение 750 нм и более. Для улучшения качества полученного изображения была написана программа на языке программирования C++ с использованием библиотеки компьютерного зрения OpenCV. Эксперимент проходил при естественном освещении.

Алгоритм работы программы:

1. Преобразовать полученный кадр в цветовое пространство LAB.
2. Извлечь канал насыщенности изображения (L-канал). Сохранить полученную плоскость.
3. Применить CLAHE алгоритм для полученного L-канала. Сохранить полученную плоскость.
4. Объединить цветные плоскости, полученные в пунктах 2 и 3.
5. Преобразовать полученное изображение в цветовое пространство RGB.

В результате были получены изображения, показанные на рис. 2. Для наглядности также приведена фотография обычной руки.

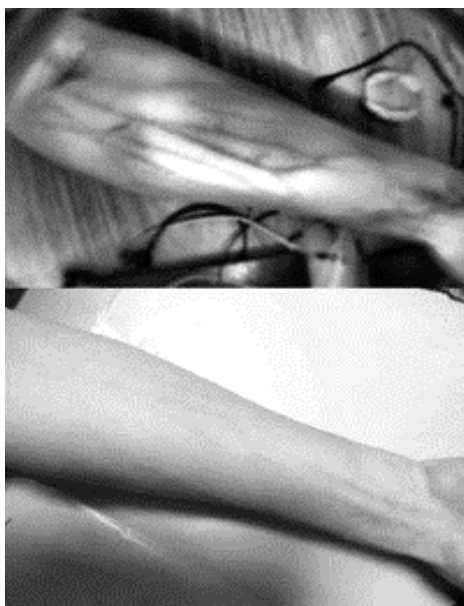


Рис. 2. Исходное и полученное изображение

Идея готового изделия заключается в том, чтобы позволить врачам бесконтактно обнаруживать вены и кровеносные сосуды. Для этого предполагается сконструировать очки компьютерного зрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аналитическая химия. Физические и физико-химические методы анализа / под ред. О.М. Петрухина. – М.: Химия, 2001. – 496 с
2. Барановский В.И. Квантовая механика и квантовая химия. – М.: Академия, 2008. – 384 с.

ПРОБЛЕМА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ ПОСТИНСУЛЬТНОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ

***А.М. Кишкина, В.В. Крившенко, С.С. Долматова,
студенты каф. КИПР***

*Научный руководитель Н.Н. Кривин, зав. каф. КИПР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, kishkina-00@mail.ru, vladislavkrivsenko@gmail.com,
sabina-dolmatova@mail.ru.*

*Проект ГПО КИПР-2103 «Домашний тренажер когнитивных
и речевых способностей»*

Обсуждаются проблемы создания программно-аппаратного комплекса для восстановления в домашних условиях когнитивных, моторных и речевых способностей у пациентов после острого нарушения мозгового кровообращения. Осуществляется постановка проектной задачи.

Ключевые слова: болезнь, инсульт, реабилитация, тренажер.

Инсульт – третья по счету причина смертности в мире, а также основная причина продолжительной инвалидизации вследствие нарушения движений, речи и когнитивных функций у постинсультных больных. Как правило, инсульт возникает у людей пожилого возраста, а постинсультное состояние является частично или полностью обратимым. Этим обуславливается потребность в использовании современных когнитивных, моторных и речевых тренажеров, предназначенных для повышения эффективности реабилитации пациентов после острого нарушения мозгового кровообращения.

Рассмотрим современные неинвазивные методы постинсультной реабилитации, не требующие хирургического вмешательства:

1. Электромиографическая – биологическая обратная связь (БОС). Суть процесса реабилитации с помощью БОС-терапии заключается в том, что пациент имеет возможность свободно менять физиологические параметры, т.е. обеспечивать регулировку силы и степень укорочения мышц, а также их координацию на основе обратной связи. Сигнал электромиографии (ЭМГ) от этих мышц представляет собой естественный потенциал электрического тока, который мышца производит при сокращении. Он записывается устройством, обрабатывается и представляется пациенту в удобной форме (аудио и видео). Иначе говоря, суть метода биологической обратной связи состоит в том, чтобы БОС-терапии «вернуть» текущие значения мышечной активности пациенту на дисплее устройства в виде шкалы и/или в виде звука. Примеры нескольких устройств с биологической обратной связью:

комплекс биоакустической коррекции «Синхро-С» (ООО «СинКор») (рис. 1, а), БОС-тренажер с функцией электромиостимуляции «МИСТ» (ООО НМФ «Нейротех»).



Рис. 1. Программно-аппаратные средства: а – комплекс биоакустической коррекции «Синхро-С»; б – нейротренажер ReviVR; в – аппарат транскраниальной электромагнитной стимуляции «НЕЙРО-МС монофазный»

2. Тренировки в VR. Виртуальная реальность (VR) – это цифровая симуляция реальности, основанная на методе биологической обратной связи. Система VR состоит из устройства для отображения визуальной, звуковой и тактильной информации; устройства ввода для считывания информации как о положении, так и о перемещениях пользователя; базы данных, содержащей полученные данные от пользователя, и программного обеспечения для создания и поддержки модели виртуального мира, максимально приближенной к реальности. Наиболее популярны технологии полного погружения, не использующие дополнительные распознающие устройства, поскольку последние ограничивают диапазон движений и создают нагрузку, которая вызывает преждевременное утомление пациента во время упражнений.

Примерами устройств для тренировок в виртуальной реальности являются: нейротренажер «ReviVR» (ООО «Росэлектроника») (см. рис. 1, б), реабилитационный комплекс «Senso Rehab» (ООО «Сенсо-Мед»).

3. Транскраниальная магнитная стимуляция. Этот метод стимуляции мозга может изменять, стимулировать или, наоборот, подавлять возбудимость определенных участков коры. Из-за уменьшения ингибирования пораженного полушария происходит чрезмерная активация в гомологичных зонах здорового полушария, что отрицательно сказывается на пластичности мозга в пораженном полушарии и затрудняет выздоровление. Исходя из этого, наиболее эффективными стратегиями нейрореабилитации после инсульта являются активация пораженного полушария (с использованием высокочастотной стимуляции) и / или подавление незатронутого полушария (с использованием низкочастотной стимуляции). Такой метод имеет два преимущества: поз-

воляет точно определить место стимуляции, ориентируясь на магнитно-резонансную томографию (МРТ) пациента, и повторять место стимула с точностью до 2 мм каждый день в течение всего курса терапии.

Примерами транскраниальных магнитных стимуляторов являются: «НЕЙРО-МС монофазный» (ООО «Нейрософт», Россия) (см. рис. 1, в), «НЕЙРО-МС/Д» (ООО «Нейрософт», Россия), транскраниальный электромагнитный стимулятор «ТАМАС» (REMEDI Co. LTD., Республика Корея).

Рассмотренные тренажёры предназначены для использования в амбулаторных условиях, когда постинсультные пациенты с целью собственной реабилитации должны посещать больницу, что является крайне проблематичным в случае нарушения их моторных способностей. В связи с этим возникает необходимость поиска единого универсального технического решения, которое в настоящий момент отсутствует.

Таким образом, проектируемый тренажер должен удовлетворять следующим основным требованиям: его функционал должен предоставлять возможность комплексного восстановления способностей постинсультных больных; по стоимости он должен быть доступен целевой группе потребителей (пенсионеры); его массогабаритные показатели должны быть меньше, чем у существующих аналогов; конструкторское решение должно давать возможность использовать тренажер у пациента на дому.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ибрагимов М.Ф., Хабиров Ф.А., Хайбуллин Т.И., Гранатов Е.В. Современные подходы к реабилитации больных, перенесших инсульт // Практическая медицина. – 2012. – № 2 (57). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-podhody-k-reabilitatsii-bolnyh-perenesshih-insult> (дата обращения: 04.03.2021).
2. Маслюк О.А., Смоленцева И.Г., Амосова Н.А., Шевченко Н.С., Милагина В.С. Применение технологий виртуальной реальности в остром периоде церебрального инсульта и их влияние на постинсультные аффективные нарушения // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2014. – № 4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-tehnologiy-virtualnoy-realnosti-v-ostrom-periode-tserebralnogo-insulta-i-ih-vliyanie-na-postinsultnyye-affektivnyye> (дата обращения: 04.03.2021).

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ЯЧЕЙКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ СИД

Д.Ю. Попов, П.В. Куприенко, студенты каф. КУДР

*Научный руководитель С.Г. Еханин, проф. каф. КУДР, д.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, gemma@main.tusur.ru*

Представлена конструкция измерительной ячейки для определения температуры активной области СИД оптическим методом. Конструкция ячейки даёт возможность применять для настройки оптического метода определения температуры обычную спектральную аппаратуру без оптоволоконного световода.

Ключевые слова: светодиоды, температура активной области.

Введение. В последнее время светоизлучающие диоды (СИД) с множественными квантовыми ямами (МКЯ) все чаще применяются в качестве основных источников света в быту, на производстве и в уличном освещении [1]. Однако известно, что рабочие характеристики полупроводниковых материалов, из которых изготовлены СИД, сильно зависят от температуры [2]. Например, при повышении температуры гетероструктуры СИД понижается внутренний квантовый выход излучения и существенно сокращается время безотказной работы устройства. Это вынуждает внимательно относиться к вопросам определения температуры активной области гетероструктуры и отвода тепла от СИД при создании светотехнических устройств на их основе.

С помощью методов непосредственного измерения невозможно измерить температуру активной области СИД, так как ее размеры очень малы и составляют менее 100 нм. Кроме того, градиент температуры вблизи этой зоны велик, что резко снижает точность измерений.

Вследствие этого обычно используют косвенный метод измерения температуры активной области СИД с помощью какого-либо термочувствительного параметра. Существуют различные методы косвенного определения температуры p – n -перехода СИД [2].

В данной работе используется спектральный метод бесконтактного определения температуры активной области СИД [3].

Описание метода. В работе [3] для светодиодов с МКЯ на основе GaN показано, «...что температурная зависимость ширины спектра излучения на уровне 0,5 от максимального значения пропорциональна $\Delta E(0,5) \approx 3 \div 4 kT$ ». Таким образом, зависимость спектра от температуры можно использовать для определения температуры активной области СИД [3].

Для реализации этого метода необходимо провести калибровочные измерения и определить температурный коэффициент изменения ширины спектра на один градус. Искомый коэффициент находится из определения ширины спектра СИД при нескольких значениях температуры кристалла.

На практике это реализуется путем измерения спектра СИД в термостате в импульсном и непрерывном режимах при одинаковых значениях протекающего тока. Калибровочные измерения должны проводиться в импульсном режиме измерений для того, чтобы исключить процесс «саморазогрева» кристалла СИД. Кроме того, такие измерения необходимо проводить при малой длительности импульсов и большой их скважности.

В данном случае измерение спектров излучения СИД будет производиться с помощью спектрофотометра СФ-26. Поскольку вывод свечения СИД из герметичного термостата представляется затруднительным и возможен только при использовании оптоволоконного световода, то для преодоления этого препятствия и была разработана данная измерительная термоячейка.

Описание конструкции измерительной ячейки. Измерительная ячейка состоит из основания (2) и крышки (не показана) и представляет собой прямоугольный параллелепипед (рис. 1).

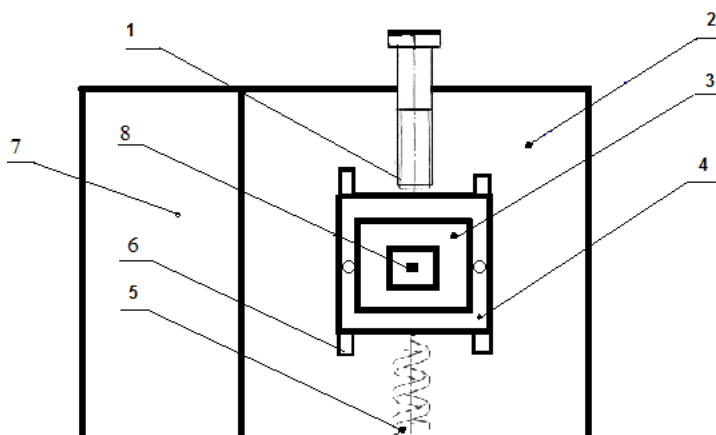


Рис. 1. Конструкция измерительной ячейки

Ширина ячейки точно соответствует точному размеру паза, между осветителем и корпусом спектрофотометра СФ-26 (7). Основание термоячейки располагается так, чтобы кристалл светодиода (8) находился в центре отверстия для вывода светового пучка из осветителя.

Для центрирования кристалла по высоте в основании ячейки делаются пазы (6), по которым может перемещаться рамка (4) с элементом Пельтье (3) с помощью винта (1) и пружины (5).

Элемент Пельтье вставлен в рамку, чтобы можно было его зафиксировать в корпусе ячейки. На самом элементе закрепили и светодиод, посадив на термопасту. В корпусе ячейки имеются отверстия для питания элемента Пельтье. Изменяя ток через элемент Пельтье можно изменять его температуру, а значит, и температуру кристалла СИД. На светодиод подается импульсное напряжение от генератора импульсов.

Заключение. Разработанная измерительная ячейка позволяет определять калибровочные графики зависимости температуры кристалла СИД от величины протекающего через него тока, не используя традиционный термостат. Кроме того, конструкция ячейки даёт возможность применять для настройки оптического метода определения температуры обычную спектральную аппаратуру без оптоволоконного световода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подгорбунских А. Разработка светодиодных светильников в условиях быстрого снижения стоимости и роста КПД светодиодов // Современная светотехника. – 2010. – № 3. – С. 59–62.
2. Шуберт Ф.Е. Светодиоды. – М.: Физматлит, 2008. – 490 с.
3. Смирнов С.В. Температурная зависимость спектров излучения светодиодов белого свечения на основе нитрида галлия и его твердых растворов / С.В. Смирнов, Е.В. Саврук, Ю.С. Гончарова // Доклады ТУСУР. – 2011. – № 2(24), ч. 2. – С. 55–58.

УДК 615.471

АППАРАТЫ ИСКУССТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ. НЕДОСТАТКИ

***А.И. Осипенко, аспирант; П.Ф. Баранов, к.т.н., доцент каф. ОЭИ
г. Томск, НИ ТПУ, Osipenkoanastasiya7@gmail.com***

Рассматриваются этапы развития аппаратов искусственной вентиляции легких, указаны особенности и проблемы эксплуатации, недостатки как зарубежных, так и отечественных аппаратов искусственной вентиляции легких третьего поколения.

Ключевые слова: аппарат искусственной вентиляции легких, первое поколение, второе поколение, третье поколение, аппаратная вентиляция, микропроцессор, турбина.

Середина XIX и начало XX в. ознаменовались значительным научно-техническим прогрессом в медицинской области – были со-

130

зданы первые аппараты искусственной вентиляции легких (ИВЛ). Этапы развития аппаратов ИВЛ можно условно разделить на три поколения: первое поколение – простая аппаратная вентиляция; второе поколение – разработка микрокомпьютеров для возможности настроек вентиляции с графическим мониторингом; третье поколение – введение турбины и микропроцессорной технологии для возможности регулирования вентиляции под конкретного пациента.

Первое поколение аппаратов ИВЛ до середины 1960-х годов использовалось для поддержания альвеолярной вентиляции постоянным потоком по дыхательному объему и частоте (генератор вдоха). Газ подавался пациенту с использованием аппарата в виде насоса, рабочим органом которого служили мех, поршень или мембрана. Увеличение концентрации кислорода в дыхательной газовой смеси осуществлялось путем использования распределительного устройства с механическим, пневматическим или электромагнитным приводом с частотой, равной частоте дыхания [1].

В это время выпущен первый автоматизированный аппарат ИВЛ – «Pulmotor», который представлял собой компактное устройство для вентиляции легких «патефонного типа» с использованием инжекторного типа конструкции: всасывающего сопла для нагнетания давления вентиляции, и управляющего механизма для переключения между фазами вдоха и выдоха в комплекте с кислородным баллоном и лицевой маской (рис. 1) [1].

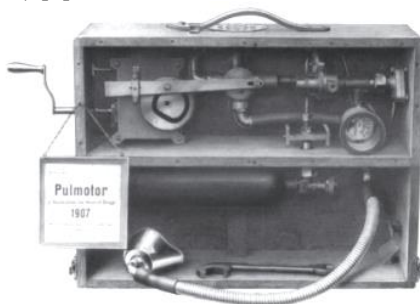


Рис. 1. Аппарат для ИВЛ «Pulmotor»

Отечественным аналогом зарубежного аппарата ИВЛ первого поколения является аппарат «Фаза», в котором генератор вдоха выполнен в виде насоса и мог работать по любому дыхательному контуру (полуоткрытому, полузакрытому и т.д.), обеспечивая проведение управляемой ИВЛ с пассивным выдохом, регулируемым сопротивлением выдоху, подогревом и увлажнением дыхательной смеси, подаваемой пациенту.

Второе поколение аппаратов ИВЛ отличается от первого тем, что в них соединены дыхательные технологии и микропроцессоры для управления вентиляторами. Первыми представителями универсальных аппаратов ИВЛ стали UV-1,2 и EV-A [2]. В них использовались клапаны с электромагнитным приводом и традиционная вентиляция легких мешком, но с электронным управлением и контролем. Микрокомпьютеры могли создавать паттерны дыхания с возможностью графического мониторинга (рис. 2).



Рис. 2. Интенсивная вентиляция с EV-A (1977 г.)

В 70-х годах XX столетия был представлен первый аппарат, который мог выдавать заданный объем при вентиляции с контролем по объему и по давлению инвазивным и неинвазивным способами [3]. Общая универсальность, возможности мониторинга и компьютерной коррекции, наличие дисплея и возможности коммуникации, модульные компоненты, которые облегчают ремонт, – вот основные особенности ИВЛ второго поколения (рис. 3).

Главным элементом аппаратов ИВЛ третьего поколения является введение в современные респираторы усовершенствованной микропроцессорной технологии и использование встроенной турбины [4].



Рис. 3. Аппараты ИВЛ второго поколения

Применяемые типы электроприводов исполнительных устройств: электромагнитный клапан для регулирования потока воздуха, электропривод компрессора для создания постоянного воздушного потока и электропривод воздушного компрессора с возможностью регулирования величины потока. Аппараты, как правило, снабжены сенсорами для мониторинга дыхания, потока, давления, объема и производных параметров с тщательным контролем ухода за больными с любыми видами критических состояний (рис. 4).

Отличие отечественных образцов ИВЛ третьего поколения от зарубежных состоит в преобладании принципа построения распределительного устройства путем комбинации пневмомеханических и электромеханических исполнительных механизмов.



Рис. 4. Аппараты ИВЛ третьего поколения

Зарубежные аппараты ИВЛ третьего поколения имеют широкий спектр функциональных возможностей, высокую точность и стабильность параметров, при разработке применяются комплектующие высокого качества и осуществляется контроль производственных процессов на всех этапах сборки, настройки и тестирования. К недостаткам зарубежных аппаратов следует отнести:

- высокую стоимость, которая порой достигает 50 тыс. евро, что приводит к дефициту аппаратов в российских больницах и невозможности приобретения в кратчайшие сроки;
- нехватка необходимого количества аппаратов у поставщиков в условиях пандемии;

- сложный функционал зарубежных аппаратов ИВЛ, требующий высокой квалификации медперсонала и дополнительного длительного обучения;
- трудности при установке, настройке, обслуживании и ремонте медтехники.

В свою очередь, российские аналоги не относятся к аппаратам экспертного класса, так как обеспечивают простые режимы вентиляции лёгких с необходимостью регуляции многих параметров вручную и не позволяют снабжать лёгкие пациента газовой смесью в течение длительного времени. К тому же недостаточность собственной компонентной базы и использование при разработке и ремонте отечественных аппаратов иностранных комплектующих приводит к необходимости закупки за рубежом генераторов воздуха, увлажнителей, датчиков давления, расхода воздуха, плат, мониторов, всех основных расходных материалов воздушного тракта, что ведет к зависимости от зарубежных поставок.

Все это говорит об острой необходимости в разработке собственных ИВЛ различной конфигурации (портативные, со сменными блоками и т.д.) на отечественной компонентной базе, основываясь на более совершенных методах и алгоритмах систем управления, учитывая технологические возможности предприятий для своевременного и недорогого восстановления аппаратов при выходе из строя. Требуется увеличить производство и усовершенствовать имеющиеся аппараты и расходные материалы, которые по функциональности, надежности и эффективности смогут заменить зарубежные.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурлаков Р.И., Гальперин Ю.С., Юревич В.М. Искусственная вентиляция лёгких. – М.: Медицина, 1986.
2. Кантор П.С., Лескин Г.С., Улянов С.В. Применение пропорционального электропневматического регулятора в аппаратах ИВЛ // Медицинская техника. – 1994. – № 1.
3. Анестезиология, реаниматология Stormoff. Каталог оборудования 2016/2017.
4. Covidien, 2012, 2015, 2017. – Режим доступа: www.medtronic.com/covidien/support/product-manuals, свободный (дата обращения: 12.02.2021).
5. Аппарат ИВЛ «АВЕНТА-М». Руководство по эксплуатации. Редакция 1.10 ОАО «УПЗ», 2013.

СОМНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАССИВНЫМ РАДИОИЗОТОПНЫМ МЕТОДОМ

К.Е. Макарова, студентка каф. КУДР;

А.А. Швадленко, ученица МАОУ СОШ № 40

*Научный руководитель С.Г. Еханин, проф. каф. КУДР, д.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, gemma@main.tusur.ru*

Проведены исследования возможности применения пассивного радиоизотопного метода для определения фаз сна. Показана перспективность этого метода для создания бесконтактных устройств для оптимального пробуждения.

Ключевые слова: сомнология, пассивный радиоизотопный метод, приборы оптимального пробуждения.

Сомнология (от лат. *somnus* – сон и греч. λόγος – учение) – раздел медицины и нейробиологии, посвященный исследованиям и расстройствам сна, их лечению и влиянию на здоровье человека [1]. Процесс сна представляет собой чередование стадий медленного сна и быстрого (парадоксального) [1, 2]. В отличие от медленного (глубокого) сна парадоксальный сон имеет ярко выраженную активную природу. В состоянии сна происходит восстановление обмена веществ в мозге, нарушенного в процессе многочасового бодрствования.

Человек очень часто ложится спать в разное время и, вставая по будильнику, может ощущать себя разбитым и усталым. Считается, что просыпаться легче всего во время быстрого сна, когда человеку что-то снится.

Сомнология способна вычислить самое подходящее время для прерывания сна, при котором человек будет ощущать себя в благоприятном состоянии. Но рассчитать точно фазы сна для каждого человека невозможно. Более точные методы исследования сна возможны только при помощи датчиков. Но недостатком известных датчиков является необходимость их контакта с человеком, что является крайне неудобным, особенно во время сна. Поэтому разработка методов бесконтактного дистанционного получения информации о работе мозга в настоящее время является актуальной.

В данной работе исследуется возможность применения пассивного радиоизотопного метода в сомнологических исследованиях.

Описание метода. При применении пассивного радиоизотопного метода учитывается, что организм человека сам обладает некоторым количеством радиоактивных веществ. В частности, в крови содержится радиоактивный изотоп калия ^{40}K . Результаты работы [3] свидетель-

ствуют о наличии взаимосвязи между активностью мозга и интенсивностью радиоактивного излучения от него.

Методика эксперимента. Исследовательская установка состоит из датчика радиоактивного излучения, в качестве которого использовался дозиметр MyGeiger DIY Kit Geiger Counter Kit PRO, предназначенный для измерения мощности дозы гамма-излучения и для точного подсчета средних CPS. Прибор автоматически обновляет информацию о радиоактивном излучении через каждые 5 с. Данные записываются на карту памяти, что позволяет производить обработку данных в MS Excel.

При проведении эксперимента датчик находился под подушкой испытуемого. Прибор находился во включенном состоянии с 22:00 до 10:00 ч утра следующих суток.

Результаты эксперимента. Обсуждение. На рис. 1 представлен график изменения интенсивности излучения, исходящего от головы испытуемого, в зависимости от времени. Со слов испытуемого, сон наступил ориентировочно в 00:30, а закончился в 8:40, до 10 ч испытуемый лежал в кровати, но не спал, а взаимодействовал с мобильным устройством. Действительно, перед засыпанием наблюдается уменьшение интенсивности излучения от головного мозга испытуемого, что свидетельствует о его погружении в фазу глубокого сна. Из графика видно, что после фазы глубокого сна происходит возрастание активности мозга, что свидетельствует о наступлении фазы парадоксального сна. Как видно из рисунка, за всю ночь до пробуждения прибор зафиксировал 6 фаз парадоксального сна, а перед пробуждением испытуемый выходил из фазы глубокого сна.

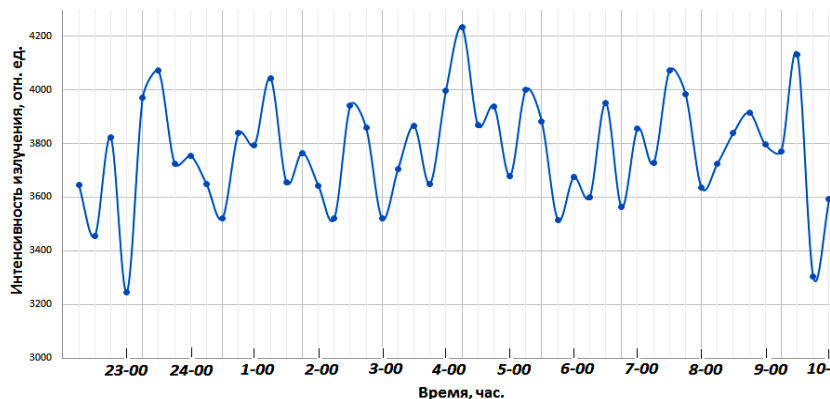


Рис. 1. График изменения интенсивности излучения, исходящего от головы испытуемого, в зависимости от времени

Из рисунка видно, что после засыпания время между 1, 2 и 3-м максимумом составляет примерно полтора часа. Эта периодичность приблизительно сохраняется на протяжении всего времени сна. Это согласуется с литературными данными, что время одного цикла сна продолжается от полутора до двух часов [1, 2].

Заключение. Таким образом полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения пассивного радиоизотопного метода для бесконтактной регистрации активности мозга во время сна. На рис. 1 видны не только максимумы активности головного мозга, но и изменения стадий глубокого сна. Используя данный метод, можно создавать электронные устройства для благоприятного пробуждения не только по фазе быстрого сна, но и по фазам медленного сна. Использование данного метода и подобных датчиков делает возможным создание не только отдельных устройств (будильников), но и создание мобильных приложений для оптимального пробуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сомнология [Электронный ресурс]: Википедия. Свободная энциклопедия. – Режим доступа: [https:// ru.wikipedia.org/wiki/Сомнология](https://ru.wikipedia.org/wiki/Сомнология) (дата обращения: 15.03.2021).
2. Ковальзон В.М. Основы сомнологии: физиология и нейрохимия цикла «бодрствование – сон». – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2012. – 239 с.
3. Молошников В.А., Еханин С.Г., Ярымова И.А. Бесконтактный датчик для систем биологической обратной связи // Приборы + автоматизация. – 2008. – № 12 (102). – С. 11–17.

УДК 616.477.31

КОРРЕКТОР ОСАНКИ ЭЛЕКТРОННЫЙ
А.Л. Герасимова, С.Е. Вишняков, Г.С. Сафонов,
В.Е. Аркатов, студенты ИЯТШ
г. Томск, НИ ТПУ

Проведен обзор устройств для отслеживания осанки, особенности технологического отслеживания правильной осанки. Создан макет устройства, который контролирует положение осанки и подает сигнал при отклонении от нормы.

Ключевые слова: датчик положения, Arduino Pro Mini.

Осанка – характерная черта каждого человека, по которой можно узнать знакомого, даже не видя его лица. Прямая спина – залог здоровья и самоуверенности. Поэтому разрабатываются устройства, позволяющие помогать следить за положением спины и исправлять осанку [1, 2].

Одной из главных частей устройства является гироскоп, который реагирует на изменение углов ориентации контролируемого тела. По положению гироскопа можно определить правильность осанки. Экспериментальные исследования положения осанки проводились с помощью десятиосного датчика положения GY-91 на плате Arduino Pro Mini. Использование модуля GY-91 позволяет сэкономить много места в готовом устройстве, а также на его конечной стоимости.

Для данного датчика (гироскопа) в стационарном состоянии заданы три постоянные координаты. В случае искривления позвоночника будут происходить отклонения от заданных значений координат. Микроконтроллер фиксирует данные отклонения и отправляет сигнал пьезоэлементу или вибромотору. Программный код для микроконтроллера разработан в программе Arduino 1.8.13. Схема изготовленного устройства изображена на рис. 1.

При изменении положения спины человека устройство начнет издавать звук, который прекратится в случае исправления положения осанки. При некоторых видах деятельности, например наклоны, устройство может сработать тогда, когда это не нужно, поэтому проведено экспериментальное исследование для определения задержки срабатывания в таких случаях.

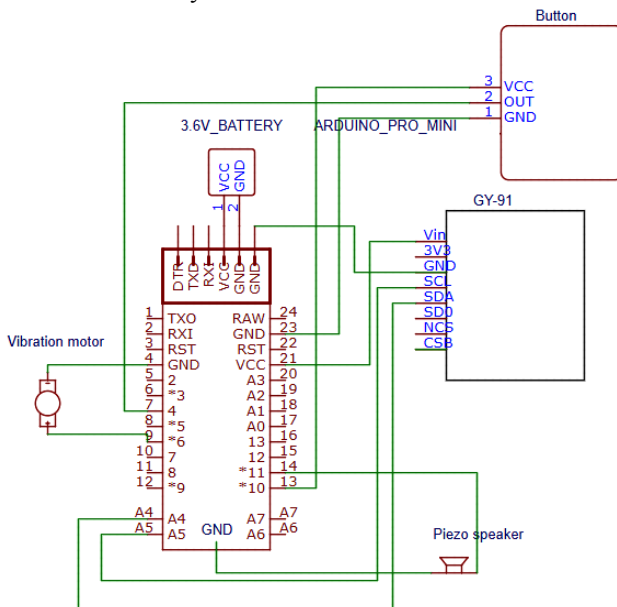


Рис. 1. Схема устройства «Корректор осанки электронный» на базе Arduino Pro Mini

Изготовлен макет корректора осанки, который является компактным переносным устройством и работает без участия пользователя. Тестирование устройства подтвердило его стабильную работу без сбоев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков Г.А., Назарова К.Р., Изиков В.Т. Электронный корректор осанки // Сб. статей по матер. X Междунар. науч.-практ. конф. «Научный форум: Инновационная наука». – 2018. – С. 23–28.
2. Гончарова С.А., Зайченко И.В. Инновационные устройства для профилактики заболеваний позвоночника // Сб. матер. междунар. науч.-практ. конф. / под ред. А.А. Коротких. – Изд-во Центра научного развития «Большая книга», 2017.

ПОДСЕКЦИЯ 2.2

РАЗРАБОТКА КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

*Председатель – Лоцилов А.Г., проректор по научной работе
и инновациям ТУСУРа, зав. каф. КУДР, к.т.н.;
зам. председателя – Бомбизов А.А., начальник СКБ «Смена», к.т.н.*

УДК 621.3.082.73

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ ПЬЕЗОЭФФЕКТА

И.Д. Демидов, А.В. Александров, студенты каф. КУДР

г. Томск, ТУСУР, d_ilya7@bk.ru, quttro.0002@gmail.com

Научный руководитель В.М. Кобзев, преп. каф. КУДР

*Проект ГПО КУДР-1802 «Система мониторинга состояния
крупного рогатого скота»*

Произведена оценка коэффициента полезного действия в ходе исследования способа преобразования механической энергии в электрическую на основе пьезоэффекта. Рассмотрены перспективные направления развития способа преобразования энергии.

Ключевые слова: пьезоэлемент, пьезоэффект, преобразование энергии, механическая энергия, электрическая энергия, энергоэффективность.

В настоящий момент ввиду ускорения темпов развития области портативной и носимой электроники актуальным является получение электрической энергии путем преобразования механической. Предполагается, что данный способ получения энергии позволит увеличить автономность работы устройств, режим работы которых подразумевает периодический выход на связь или выполнение каких-либо операций однократно в течение длительных промежутков времени [1].

Примером носимой электроники являются GPS-трекеры для животных. Существующие трекеры контроля местоположения работают от химических источников питания и не могут функционировать на протяжении длительного времени. Источник питания, в основе которого лежит принцип преобразования механической энергии, способен устранить проблему с заменой и зарядкой химических аккумуляторов.

Идея заключается в создании автономного источника питания, преобразующего механическую энергию в электрическую.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование методики оценки энергоэффективности преобразования механической энергии, полученной при помощи пьезоэлемента, в электрическую.

На рис. 1 представлена электрическая схема для проведения экспериментов. Эта схема состоит из пьезоэлемента, диодного моста, конденсатора, кнопки и светодиода. С помощью механических воздействий на пьезоэлемент вырабатывается электрический ток, который протекает через диодный мост. Диодный мост нужен для того, чтобы инвертировать отрицательную часть переменного тока в положительную [2]. Далее ток поступает в конденсатор, в котором он накапливается. После нескольких ударов можно нажать на кнопку и увидеть, как вспыхнет светодиод.

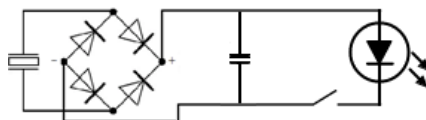


Рис. 1. Электрическая схема для преобразования механической энергии в электрическую

На рис. 2 представлен макет экспериментальной установки, он состоит из электрической схемы, представленной на рис. 1, осциллографа и металлического шарика. Шарик бросается с определенной высоты на пьезоэлемент, после чего при помощи осциллографа с пьезоэлемента и конденсатора снимаются полученные данные.

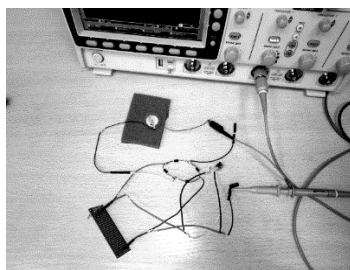


Рис. 2. Макет экспериментальной установки

Для проведения эксперимента один из каналов осциллографа подключается к пьезоэлементу, что позволяет при воздействии на пьезоэлемент зафиксировать длительность импульса и напряжение. Дру-

гой канал осциллографа подключается к конденсатору для измерения напряжения на нём – это необходимо для того, чтобы фиксировать момент, когда конденсатор полностью заряжен. Далее определяется необходимое количество ударов шарика для полной зарядки конденсатора. Таким образом, становится известна длительность импульсов каждого из ударов шарика, после чего, зная длительность импульсов каждого из ударов, можно определить суммарную длительность импульсов. Аналогичным образом можно определить общее напряжение импульсов.

Для определения силы тока необходимо воспользоваться ниже следующей формулой:

$$I = q/t, \quad (1)$$

где I – сила тока; q – заряд, сгенерированный пьезоэлементом в момент удара; t – длительность удара шарика по пьезоэлементу.

Заряд, переданный шариком пьезоэлементу в момент удара, можно выразить из ниже следующей формулы:

$$q = CU_{\kappa}, \quad (2)$$

где C – ёмкость конденсатора; U_{κ} – напряжение на конденсаторе.

Подставив формулу нахождения значения заряда в формулу (1), можно определить силу тока, проходящего в схеме.

В ходе исследования металлический шарик массой 8 г бросался с высоты 4 см от трех до двадцати раз. Результаты эксперимента приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Результаты экспериментов с пьезоэлементом

Кол-во бросков i	Общее время импульсов t , мкс	Общее напряжение импульсов $U_{\text{общ}}$, В	Сила тока I , мА	Напряжение на конденсаторе U_{κ} , В
3	755,9	2,53	15,42	2,48
8	1934,85	6,551	16,06	6,61
13	3171,08	13,901	11,26	7,6
20	5255,68	22,112	10,1	11,3

Значение электрической мощности бросков находится по формуле (3).

$$P = U \cdot I. \quad (3)$$

Механическая мощность находится по формуле (4):

$$N = A/\tau, \quad (4)$$

где A – работа механической энергии шарика; τ – время падения шарика.

Формула (4) используется для определения механической мощности шарика при одном броске, а для определения мощности при i количестве бросков используется формула (5):

$$N_i = N \cdot I, \quad (5)$$

где i – количество бросков.

Работа механической энергии рассчитывается по нижеследующей формуле:

$$A = m \cdot g \cdot h, \quad (6)$$

где g – ускорение свободного падения; m – масса шарика; h – высота падения шарика.

Время падения шарика рассчитывается по формуле (7):

$$\tau = \sqrt{2h/g}. \quad (7)$$

Значение КПД определяется по формуле (8):

$$\eta = P/N \cdot 100\%. \quad (8)$$

Рассчитанные значения записываются в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Расчётные данные эксперимента

Кол-во бросков i	Электрическая мощность P , мВт	Механическая мощность N_i , мВт	КПД η , %
3	39	104,29	37,4
8	105,2	278,1	37,8
13	156,53	451,9	34,65
20	223,33	695,25	32,14

Возникновение и развитие метода преобразования механической энергии в электрическую связаны с получением электрической энергии из окружающей среды. Полученные данные помогут создать источник питания для носимой электроники. Этот источник способен заменить аккумуляторы в устройствах, потребляющих малое количество энергии. В дальнейшем рассматриваемый метод в ходе эксперимента может быть скомбинирован с другими аналогичными методами, к примеру с эффектом Зеебека [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Развитие IoT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://iot.ru/promyshlennost/osnovnye-prognozy-interneta-veshchey-na-2021-god> (дата обращения: 01.03.2021).
2. Диодный мост [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://odin-electric.ru/equipment/electronic-components/chto-takoe-diodnyj-most> (дата обращения: 03.03.2021).
3. Эффект Зеебека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Эффект_Зеебека (дата обращения: 03.03.2021).

ИССЛЕДОВАНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ КОМПАУНДОВ*А.В. Александров, И.Д. Демидов, студенты каф. КУДР**Научный руководитель В.М. Кобзев, преп. каф. КУДР**г. Томск, ТУСУР, qutro.0002@gmail.com, d_ilya7@bk.ru**Проект ГПО КУДР-1802 «Система мониторинга состояния крупного рогатого скота»*

Произведено исследование классификаций компаундов. Рассмотрены виды компаундов по условиям эксплуатации.

Ключевые слова: компаунд, эпоксид, полимер, классификация, праймер.

Компаундами называются изоляционные составы, жидкие в момент их применения, которые затем отвердевают.

При выборе компаунда следует исходить из условий эксплуатации, к примеру: повышенная влажность, повышенная температура или же химическая агрессивность. Стоит для начала разделить компаунды на виды (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Виды компаундов		
Компаунды		
Виды	Эпоксидные	Полимерные
Свойства	Стабильные размеры в отвержденном состоянии. Хорошо совместимы с наполнителем. Высокие механические и диэлектрические свойства. Устойчивость к химикатам. Хорошая текучесть. Отвердевание с малой усадкой и без выделения токсичных веществ	Хорошие деформационные, теплофизические и диэлектрические свойства. Отсутствие токсичных веществ в составе. Отсутствие побочных продуктов при отвердевании. Малая усадка при отвердевании. Долгий срок службы

Эпоксидные компаунды используются в электрических приборах в качестве надёжного фиксатора. Ими заливают от отдельных элементов плат, до всей платы целиком (табл. 2) [1].

Т а б л и ц а 2

Виды эпоксидных компаундов		
Эпоксидные		
Виды	Вязкотекучие	Формовочные
Свойства	Повышенная упругость и эластичность	Сохранение свойств в отвержденном состоянии при высоких температурах

Полимерные компаунды используются для пропитки и заливки элементов электронной аппаратуры с целью электроизоляции, также с целью защиты элементов от факторов внешней среды, в том числе механических воздействий (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Виды полимерных компаундов			
	Полимерные		
Виды	Полиуретановые	Силиконовые	Смазочные
Свойства	Упругость; повышенная водо- стойкость	Высокий диапазон рабочих температур; эластичность; прозрачность	Высокий диапазон рабочих температур; повышенная адгезия; водостойкость

Области применения. Эпоксидные формовочные компаунды обладают высоким диапазоном рабочих температур, что позволяет использовать их с печатными платами, которые подвергаются нагреву.

Эпоксидные вязкотекучие компаунды используются дополнительно с наполнителями, что уменьшают их стоимость. Они используются в РЧ-изделиях, так как обладают низкой диэлектрической проницаемостью. Эпоксидные компаунды защищают платы от физических воздействий [1].

Смазочными полимерными компаундами обрабатываются и герметизируются различные уплотнители и соединения, причем как неподвижные, так и подвижные [2].

Полиуретановые полимерные компаунды применяются в морских условиях, так как они обладают высокой стойкостью к погружению в солёную воду. Полиуретановые компаунды обладают низкой диэлектрической проницаемостью, что позволяет использовать их в РЧ-изделиях. Также они являются УФ-стойкими.

Силиконовые полимерные компаунды обладают прозрачностью, что позволяет применять их для обработки печатных плат, на которых содержатся световые индикаторы, также они обладают высоким диапазоном рабочих температур [3].

Перед нанесением компаунда на печатную плату следует её обработать обезжиривающим и очищающим веществом для повышения адгезии и удаления лишних веществ, таких как флюс. Примером обезжиривающего и отчищающего вещества является The Safewash Range [4].

Некоторые компаунды изначально обладают пониженной адгезией, и для увеличения данного показателя используются праймеры: их следует выбирать по химическому составу и исходя из условий эксплуатации, примером праймера является Terostat Primer 8519 p [5].

Компаунды предназначаются для длительной эксплуатации в трудных условиях, поэтому зачастую их удаление – сложная задача. Для снятия компаунда используются определенные составы, примером является Resin Remover Solvent [6]. Он позволяет удалять эпоксидные и полимерные компаунды.

При изготовлении смеси и заливки компаунда следует свести поступление воздуха к абсолютному минимуму. При игнорировании данного условия с эпоксидными компаундами захват воздуха может привести к образованию пустот, тем самым повлиять на уровень защиты. Полиуретановые компаунды восприимчивы к влаге из-за особенностей отвердителя. Обычно они отвердевают с помощью изоцианатов, которые реагируют с влагой лучше, чем со смолой. В этом случае при попадании влаги в смолу образуются пузырьки в результате высвобождения углекислого газа, что может привести к плохому отвердеванию, оставляющему после себя мягкую или клейкую смолу. Поэтому важно следить за тем, чтобы емкости с компонентами вне периода использования всегда оставались закрытыми [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Заливочные компаунды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stopkoroziya.ru/articles/kompaund/> (дата обращения: 23.02.2021).
2. Компаунды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://smazki.guru/40_kompaundi.html (дата обращения: 23.02.2021).
3. Силиконовые компаунды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://atf.ru/articles/obzory/obshchie_svedeniya_o_silikonovykh_kompaundakh_molykote_i_dow_corning_i_osobennostyakh_ikh_primeneniya/ (дата обращения: 26.02.2021).
4. The Safewash Range [Электронный ресурс]. – Режим доступа: farnell.com/datasheets/513134.pdf (дата обращения: 02.03.2021).
5. Terostat Primer 8519 p [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mirkleya.ru/upload/files/Terostat-8519.pdf> (дата обращения: 03.03.2021).
6. Remover Solvent [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zen.yandex.ru/media/id/5db80b6a98fe7900ad127d7a/kompaundy-ih-osnovnye-raznovidnosti-i-oblasti-primeneniia-5f464cef32253d3bc892f5de> (дата обращения: 03.03.2021).
7. Заливочные компаунды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://giga-tools.ru/catalogs/electrolube/zalivochnye-kompaundy.pdf> (дата обращения: 03.03.2021).

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТА ПЕЛЬТЬЕ

А.В. Александров, И.Д. Демидов, студенты каф. КУДР

г. Томск, ТУСУР, quttro.0002@gmail.com, d_ilya7@bk.ru

Научный руководитель В.М. Кобзев, преп. каф. КУДР

*Проект ГПО КУДР-1802 «Система мониторинга состояния
крупного рогатого скота»*

Представлены результаты исследования способа преобразования тепловой энергии в электрическую, оценена зависимость силы тока и напряжения в цепи от температуры и количества используемых элементов Пельтье.

Ключевые слова: элемент Пельтье, преобразование энергии, тепловая энергия, электрическая энергия, энергоэффективность.

Актуальной является задача исследования эффективности метода получения энергии из окружающей среды для применения в устройствах, выходящих на связь или выполняющих какую-то операцию однократно в течение длительных промежутков времени [1].

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование методики эффективности возможности преобразования тепловой энергии в электрическую.

Для определения выходного напряжения использовался осциллограф, подключенный к контактам элемента Пельтье ТЕС1-12706 [2] – при нагреве одной из сторон элемента Пельтье определяется выходное напряжение. Значение силы тока в цепи определяется при помощи амперметра, включенного в режим короткого замыкания, который подключён последовательно к элементу Пельтье.

Зная значения напряжения и силы тока, можно определить значение электрической мощности цепи по формуле (1):

$$P = U \cdot I, \quad (1)$$

Затем, при помощи формулы (2) находится значение тепловой энергии, выделенной источником тепла:

$$Q = m \cdot C(t_1 - t_2), \quad (2)$$

где Q – количество теплоты; m – масса воды; C – удельная теплоёмкость воды; t_1 – начальная температура; t_2 – конечная температура.

Далее по формуле (3) рассчитывается тепловая мощность, которую выделяет источник тепла:

$$N_{\text{тепл}} = Q/\Delta t, \quad (3)$$

где Δt – время, в течение которого установилась постоянная электрическая мощность.

Зная значения электрической и тепловой мощностей, определяется значение КПД элемента Пельтье по формуле (4):

$$\eta = P/N_{\text{тепл}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где η – КПД; P – электрическая мощность; $N_{\text{тепл}}$ – тепловая мощность.

Разность температур измерялась при помощи амперметра и подключенной к нему термопары. Начальные значения температуры в ходе эксперимента уменьшались на $0,5^\circ\text{C}$ в обоих случаях. Источником тепла в эксперименте служила вода массой 180 г. Время, в течение которого установилась постоянная электрическая мощность, – 15 с.

В начале эксперимента значение приложенной температуры составляло 40°C . Далее было установлено, что при воздействии на один элемент Пельтье тепловой мощностью, рассчитанной по формуле (3) и равной 25,2 Вт, значение силы тока равно 16 мА и напряжение выхода на амперметре равно 110 мВ.

При последовательном подключении трёх элементов Пельтье и подаче той же тепловой мощности сила тока составляет 20 мА и напряжение выхода – 260 мВ, а при параллельном подключении трёх элементов Пельтье, с той же тепловой мощностью сила тока равна 13,5 мА и напряжение выхода равно 65 мВ.

Из эксперимента следует, что последовательное подключение элементов Пельтье даёт большую энергоэффективность, чем параллельное соединение.

Увеличив значение температуры воды до 57°C , значение тепловой мощности становится равным 50,4 Вт. Экспериментально установлено, что сила тока одного элемента Пельтье составляет 41,6 мА и напряжение выхода элемента Пельтье составляет 165,2 мВ. При последовательном подключении трёх элементов Пельтье при той же тепловой мощности, сила тока равна 42,8 мА и напряжение выхода равно 420 мВ. Результаты экспериментов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты экспериментов с элементом Пельтье

Ко-во элементов	Тип соединения	Сила тока, I , мА	Напряжение выхода, $U_{\text{вых}}$, мВ
1	–	16	110
3	Последовательный	20	260
3	Параллельный	13,5	65
1	–	41,6	165,2
3	Последовательный	42,8	420

Электрическая мощность одного элемента Пельтье рассчитывается по формуле (1), при приложении тепловой мощности, равной 25,2 Вт, и составляет значение, равное 1,76 мВт.

Значение КПД элемента Пельтье рассчитывается по формуле (4), и составляет значение, равное $6,98 \cdot 10^{-3}\%$. Рассчитанные значения записываются в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Рассчитанные данные эксперимента

Кол-во элементов	Тип соединения	Конечное значение температуры t_2 , °C	Тепловая мощность, $N_{\text{тепл}}$ Вт	КПД, $\eta \cdot 10^{-3}\%$
1	—	39,5	25,2	6,98
3	Последовательный	39,5	25,2	20,7
3	Параллельный	39,5	25,2	3,48
1	—	56,5	50,4	13,6
3	Последовательный	56,5	50,4	35,6

Из эксперимента следует, что значение силы тока зависит только от температуры, а количество элементов Пельтье не влияет на данный показатель. А значение напряжения выхода зависит как от разности температур, так и от количества элементов Пельтье.

Полученные данные помогут в создании источника питания для носимой электроники, способного заменить аккумуляторы в устройствах, потребляющих малое количество энергии. Рассматриваемый метод может быть скомбинирован с другими аналогичными методами, к примеру с пьезоэлектрическим эффектом в виде пьезоэлемента [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Прогнозы развитие IoT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Интернет_вещей,_IoT,_M2M_\(мировой_рынок\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Интернет_вещей,_IoT,_M2M_(мировой_рынок)) (дата обращения: 01.03.2021).
2. Элемент Пельтье TEC1-12706 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.chipdip.ru/product/tec1-12706-40x40> (дата обращения: 03.03.2021).
3. Демидов И.Д., Александров А.В. Методика исследования эффективности источника электропитания на основе пьезоэффекта // Наука и практика: проектная деятельность – от идеи до внедрения: матер. IX регион. науч.-практ. конф., г. Томск, 2020. – № 1-1. – С. 385–388.

ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ В ЛЕСИСТОЙ МЕСТНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ LORA

А.К. Пащенко, магистрант каф. КУДР;

А.А. Бомбизов, начальник СКБ «Смена», к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, pashchenko.anton.k@mail.ru

Описывается процесс макетирования радиосистемы, состоящей из приемника и передатчика взаимодействующих по радиоканалу с центральной частотой 433 и 868 МГц с использованием технологии LoRa. Отображены результаты проведенных экспериментов измерения дальности передачи данных в условиях лесистой местности.

Ключевые слова: телеметрия, LoRa, сбор и передача данных.

Технология модуляции LoRa (Long Range) представляет собой метод модуляции, основывающийся на технологии модуляции с расширенным спектром и вариации линейной частотной модуляции (CSS) с интегрированной прямой коррекцией ошибок (FEC), что позволяет обеспечить значительно большую дальность связи (зону покрытия), чем другие конкурирующие с ним способы. Технология LoRa позволяет осуществлять демодуляцию сигналов с уровнями на 19,5 дБ ниже уровня шумов при том, что для правильной демодуляции большинству систем с частотной манипуляцией (FSK) нужна мощность сигнала как минимум на 8–10 дБ выше уровня шума [1].

В России возможно использование приемопередатчиков, поддерживающих протокол LoRa с центральной частотой 433 или 868 МГц. При этом мощность передатчиков ограничена и регламентируется законодательством страны. Так, для 433 МГц выходная мощность не может превышать 100 мВт, а для 868 МГц – 2 Вт. Таким образом, при разработке радиопередающих устройств более целесообразно использовать микрочипы с возможностью передачи данных на частоте 868 МГц.

В случае рассмотрения передачи данных с использованием радиоканала с центральной частотой 868 МГц существует большая вариативность допустимых значений максимальной мощности передатчиков. Согласно решению ГКРЧ «О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия» [2], возможна передача данных в диапазоне частот 866,0–867,6 МГц с максимальной мощностью радиопередающего модуля до 2 Вт. Однако при использовании передатчиков с выходной мощностью свыше 500 мВт требуется получение разрешения государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) согласно порядку, указанному на сайте Федерального государственного унитарного предприятия «Главный радиочастотный центр» [3].

На рис. 1 представлена структурная схема установки для измерения дальности передачи данных.



Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки оценки дальности связи

LoRa-передатчик является мобильным источником сигнала, который в ходе эксперимента перемещается на заданное расстояние.

LoRa/USB-шлюз предназначен для получения с LoRa-передатчика и отправки на ПК по интерфейсу USB значения уровня принятого сигнала и информацию о целостности принятых данных.

На основе официальной документации на LoRa-модули [4] и предварительно проведенных лабораторных исследований были получены зависимости чувствительности приемопередатчиков от их настроек при передаче пакета размером 100 байт на центральной частоте 433 и 868 МГц и выходной мощности передатчика 100 мВт. В результате, было определено, что максимальная дальность передачи данных может быть обеспечена при установке ширины полосы 62,5 кГц и выборе коэффициента расширения 12, так как при таких настройках передаваемый сигнал еще остается стабильным и обеспечивается наилучшая чувствительности приемника – минус 140 и минус 139 дБм соответственно.

В реальных условиях было проведено три эксперимента. В первом случае использовались приемопередатчики, взаимодействующие на центральной частоте 433 МГц с максимальной выходной мощностью 100 мВт (рис. 2, 1). Использовались антенны с круговой диаграммой направленности с коэффициентом усиления 8 дБи.

Далее центральная частота была изменена на 868 МГц и проведены еще два измерения с максимальной выходной мощностью 100 мВт (см. рис. 2, 2) и 1 Вт соответственно (см. рис. 2, 3). При проведении первичных испытаний использовалось 2 типа антенн: с круговой диаграммой направленности с коэффициентом усиления 8 дБи и направленные антенны с коэффициентом усиления 10 дБи. При мощности передатчика 100 мВт смена антенн не давала ощутимого прироста дальности передачи сигнала, а при повышении мощности до 1 Вт переход к направленной антенне позволил значительно улучшить результат.

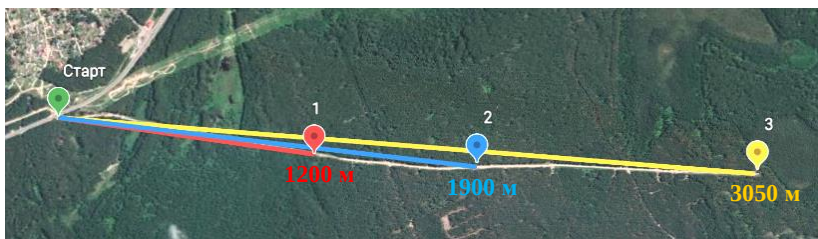


Рис. 2. Результаты измерения дальности связи:

1 – 433 МГц, 0,1 Вт; 2 – 868 МГц, 0,1 Вт; 3 – 868 МГц, 1 Вт

Проведя эксперимент, удалось добиться стабильной передачи данных объемом 100 байт на расстояние 1200 м при центральной частоте 433 МГц и мощности передатчика 100 мВт, а при смене центральной частоты на 868 МГц – 1900 м, в случае использования передатчиков с выходной мощностью 100 мВт, и 3050 м при использовании передатчиков с мощностью 1 Вт.

Ожидалось, что результат, полученный на частоте 868 МГц при мощности передатчика 100 мВт, окажется хуже результата аналогичного эксперимента, но на частоте 433 МГц, ввиду того, что с увеличением частоты радиосигнала падает его проникающая способность, а так как в лесу практически нет участков прямой видимости, то и дальность связи на более высокой частоте будет ниже. Однако при сравнении полученных результатов оказалось, что при использовании передатчиков с центральной частотой 868 МГц удалось передать сигнал на расстояние на 700 м, превосходящее полученный результат при использовании передатчиков с центральной частотой 433 МГц. Таким образом, была отмечена занятость эфира в диапазоне частот 433–434 МГц, которая является причиной ухудшения дальности и устойчивости передачи данных.

Подводя итог, можно сделать вывод, что гораздо перспективнее в новых разработках использовать приемопередатчики с центральной частотой около 868 МГц, так как эфир в области обозначенной частоты менее зашумлен уже функционирующими устройствами, что позволяет добиться большей устойчивости сигнала при его передаче.

ЛИТЕРАТУРА

1. Верхулевский К. Технология LoRa в вопросах и ответах // Беспроводные технологии. – 2016. – № 1. – С. 18–21.
2. О выделении полос радиочастот устройствам малого радиуса действия: Решение ГКРЧ от 7 мая 2007 года № 07-20-03-001. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902048009#> (дата обращения: 11.03.2021).

3. Порядок получения разрешения на использование радиочастот или радиочастотных каналов // ФГУП ГРЧЦ. – 2021. – URL: http://www.grfc.ru/grfc/sprav_info/poriadok_razr/ (дата обращения: 11.03.2021).

4. RHF76-052 // IoTiger. – 2020. – URL: <http://iotiger.net/devices/rhf76-052-rhf78-052-lora-module/> (дата обращения: 10.03.2021).

УДК 681.6

ОБЗОР УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПРИНТЕРНОЙ ПЕЧАТИ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ

С.М. Салиев, магистрант каф. КУДР

*Научный руководитель С.А. Артюцев, доцент каф. КУДР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, solizhonsaliev@mail.ru*

Технология 3D-печати электронных схем достигла уже достаточно-го развития, чтобы применяться не только при изготовлении корпусов и прототипов, но и полнофункциональных электронных компонентов. Упомянутые в статье устройства могут применяться как в разработке и прототипировании для создания опытных образцов, так и для мелкосерийного коммерческого производства.

Ключевые слова: печатная электроника, технология 3D-печати, печатные платы, аддитивные технологии, принтерная печать электронных схем.

Был выполнен обзор 3D-принтеров для изготовления печатных плат, одним из них является Voltera V-One. Внешний вид Voltera V-One изображен на рис. 1 [1].



Рис. 1. Voltera V-One (Канада)

В ходе эксплуатации данного принтера обнаружены определенные недостатки [2]. Для печати электропроводящих дорожек необходимо использовать только фирменные дорогостоящие чернила от компании «Voltera». Минимальный размер напечатанных проводников составляет более чем 200 мкм. После нанесения рисунка (схемы) чернилами требуется производить обжиг платы порядка 20 мин при

температуре 250°. Для этого она размещается над нагревательным элементом. Изготовление простой печатной платы занимает около часа. Использование принтера предполагается для изготовления двусторонних печатных плат путем переворачивания подложки после печати первого слоя, совмещения переходных отверстий и повторного запекания.

Nano Dimension Dragonfly – один из первых 3D-принтеров профессионального уровня, предназначенный для аддитивного производства печатных плат. Внешний вид DragonFly 2020 изображен на рис. 2 [3].



Рис. 2. Nano Dimension DragonFly 2020

DragonFly 2020 дает пользователям возможность быстро изготавливать прототипы и испытывать их, позволяя подобрать оптимальную форму и конструкцию печатной платы. Процесс контролируется собственным программным обеспечением Nano Dimension, в котором используются стандартные для отрасли файлы в формате Gerber – на их основе максимально точно производятся платы. DragonFly 2020, Nano Dimension также представила проводящие чернила из наночастиц серебра под названием AgCite, которые подходят для 3D-печати любым методом подачи материала.

Еще один из принтеров – Dimatix Materials Printer DMP-2831, внешний вид изображен на рис. 3 [4].



Рис. 3. Dimatix Materials Printer DMP-2831

Принтер DMP-2831 предназначен для прямой печати активных и пассивных элементов с использованием специальной суспензии (дисперсии) с частицами разной функциональности, обладает возможностью контроля размеров напечатанных элементов с точностью определения линейных размеров до 30 нм и возможностью контроля размеров частиц в суспензии с точностью до 20 нм.

Преимуществом бесконтактного нанесения в сравнении с контактным способом является то, что печать осуществляется из герметичных картриджей, исключающих механизм испарения. Современные бесконтактные системы имеют в своем составе картриджи с большим (16 и более) количеством сопел, выполненных по интегральной технологии, что позволяет обеспечить высокую скорость печати. Возможность регулировки температуры чернил в картридже позволяет регулировать их вязкость.

Основной недостаток бесконтактных систем, в особенности многосопельных, – высокие требования к параметрам чернил. В первую очередь, это относится к размерам частиц, которые должны быть на порядок меньше диаметра сопла. Применение чернил с большим размером частиц может привести к засорению сопла и выходу картриджа из строя.

Более высокое разрешение печати позволяет получить принтер Catalina производства компании GPD Global [5]. Внешний вид GPD Global Catalina можно увидеть на рис. 4.



Рис. 4. GPD Global Catalina

Исходя из заявленных характеристик, данное высокоточное устройство имеет разрешение печати от 100 мкм (при определенной вязкости чернил). Имеется функция автоматического выравнивания и поиска реперных точек (отверстий) с помощью камеры высокого разрешения, называемая техническим зрением. Для этого принтер комплектуется специальным контроллером с монитором.

В качестве материалов благодаря прецизионному шнековому механизму дозирования можно использовать любые диэлектрические и электропроводящие чернила различной вязкости и назначения, без привязки к какому-либо производителю. Для более точной работы робота предусмотрены два отдельных блока управления: первый предназначен для настройки температурных режимов рабочей платформы и дозатора, а второй – для управления давлением, скоростью вращения и более тонкой регулировки механизма дозирования.

SonoPlot Microplotter II – это прецизионная система дозирования жидкости пиколитром для рынков микрочипов и полимерной электроники со значительными преимуществами по сравнению с существующими продуктами в размерах и типах нанесенных элементов, регулярности дозирования объемов и гибкости для пользователя. Внешний вид SonoPlot Microplotter II можно увидеть на рис. 5.



Рис. 5. SonoPlot Microplotter II

Ядром SonoPlot Microplotter II является дозатор, который использует управляемый ультразвук для бесконтактного нанесения жидкости. Эта запатентованная технология позволяет получать пиколитровые капли, которые образуют элементы на поверхности шириной всего 5 мкм. В сочетании с автоматической калибровкой высоты поверхности можно достичь коэффициентов изменчивости для диаметров наплавленных элементов до 10%. Можно использовать широкий спектр жидкостей, включая водные растворы и многие смеси на основе органических растворителей. Жидкости, с которыми сталкиваются другие дозаторы, такие как насыщенные растворы для матриц MALDI-ToF или жидкости с вязкостью до 450 сП, могут быть легко нанесены. Ультразвуковое перекачивание также является эффективным механизмом очистки для быстрого последовательного нанесения множества растворов.

Заключение. Проведен обзор устройств для принтерной печати электронных схем, устройства могут применяться как в разработке и прототипировании, для создания опытных образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Voltera [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.voltera.io/> (дата обращения: 10.02.2021).

2. Разработка макета для исследования электрофизических характеристик пленок, нанесенных методом принтерной печати / Н.С. Труфанова, А.С. Труфанова // Сб. избр. статей научной сессии ТУСУР, Томск, 16–18 мая 2018 г.: в 3 ч. – Томск: В-Спектр, 2018. – Ч. 2. – С. 66–68.

3. Nano Dimension DragonFly 2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.3dpulse.ru/news/novosti-kompanii/nano-dimension-predstavlyaet-dragonfly-2020-pervyi-personalny-3d-printer-dlya-elektronnyh-detalei/> (дата обращения: 10.02.2021).

4. 3D-принтер Voxel8 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://additiv-tech.ru/publications/obzor-tehnologiy-i-oborudovaniya-dlya-3d-pech-ati-v-oblasti-elektroniki.html> (дата обращения: 11.02.2021).

5. GPD Global Catalina [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gpd-global.com/co_website/dispense-tabletop-benchtop-catalina.php (дата обращения: 15.02.2021).

ПОДСЕКЦИЯ 2.3

РАЗРАБОТКА КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

Председатель – Троян П.Е., зав. каф. ФЭ, д.т.н., проф.;
зам. председателя – Смирнов С.В., проф. каф. ФЭ, д.т.н.

УДК 537.312.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ

А.Н. Бушмакина, студентка каф. РЭ

Научный руководитель О.А. Доценко, доцент каф. РЭ, к.ф.-м.н.
г. Томск, ТГУ, egou@sibmail.com

Приведены результаты эксперимента, определяющего влияние введения в магнитную жидкость примеси – многостенных углеродных нанотрубок – на её диэлектрическую проницаемость при приложении различно направленных внешних магнитных полей. Показано, что значение диэлектрической проницаемости при воздействии магнитного поля, перпендикулярного пластинам конденсатора, содержащего магнитную жидкость с нанотрубками, повышается на три порядка.

Ключевые слова: ферромагнитные жидкости, феррофлюиды, нанотрубки, диэлектрическая проницаемость, магнитное поле.

Магнитной жидкостью называют коллоидный раствор ферромагнитных частиц, изменяющий свои свойства под действием внешнего магнитного поля. Как правило, она содержит в своем составе наночастицы магнетита Fe_3O_4 , покрытые антикоагулянтном и взвешенные в несущей жидкости – масле, керосине или воде.

Магнитные жидкости (МЖ) относят к категории умных материалов, спектр их применения довольно широк – от машиностроения до медицины [1]. Есть основания утверждать, что их потенциал раскрыт не до конца. Большой интерес для науки представляет использование МЖ с добавлением иных частиц или соединений.

В данной работе представлены результаты изучения электрофизических характеристик МЖ с добавлением многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ).

В качестве объекта исследования была выбрана пресинтезированная МЖ, приобретённая в интернет-магазине «Мир магнитов» (г. Москва). На ее основе было сделано два образца для проведения последующих измерений: образец беспримесной МЖ и образец МЖ с добавлением 1% мас. МУНТ со средним диаметром 9,2 нм. Для проведения эксперимента образцы помещались в измерительную ячейку – дисковый конденсатор с медными обкладками. Ёмкость конденсатора измерялась прецизионным LCR-измерителем Agilent E4980A. Паразитная ёмкость проводов, соединяющих конденсатор с измерителем, была предварительно откалибрована.

Измерительный конденсатор с образцом помещался в постоянное магнитное поле величиной 0,2 Тл. Внешнее магнитное поле создавалось в зазоре между пластинами постоянного магнита. Измерения частотной зависимости ёмкости конденсатора проводились без приложения поля и с полем, направленным параллельно или перпендикулярно плоскости пластин конденсатора.

Затем из измеренных частотных зависимостей ёмкостей были определены частотные зависимости действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости (ДП). Расчет действительной части ДП из значений ёмкости измерительного конденсатора проводился по формуле [2]

$$\varepsilon = C_x / C_0, \quad (1)$$

где C_x – ёмкость конденсатора с образцом диэлектрика, C_0 – ёмкость пустого конденсатора

По результатам проведённых экспериментов было установлено, что в диапазоне частот от 1000 Гц до 1 МГц наблюдается значительное увеличение действительной части ДП в том случае, когда магнитное поле направлено перпендикулярно пластинам измерительного конденсатора. Это увеличение видно на рис. 1, *a*.

При этом в случаях, когда внешнее магнитное поле отсутствует или направлено параллельно пластинам измерительного конденсатора, частотная зависимость ДП имеет схожий характер для образцов МЖ без добавления и с добавлением МУНТ. ДП образцов с добавлением МУНТ оказалась несколько больше для обоих случаев – без внешнего магнитного поля и с параллельным полем, однако это увеличение пренебрежимо мало относительно результатов, полученных для внешнего магнитного поля, перпендикулярного пластинам измерительного конденсатора.

Резкое и значительное увеличение ДП при воздействии перпендикулярного поля можно объяснить тем, что проводящие нанотрубки вместе с частицами магнетита сформировали проводники, соединяю-

щие медные пластины. Хаотичное или направленное вдоль пластин распределение взвеси нанозлементов не позволяет достичь аналогичного результата при отсутствии внешнего магнитного поля или при наличии внешнего магнитного поля, параллельного пластинам конденсатора.

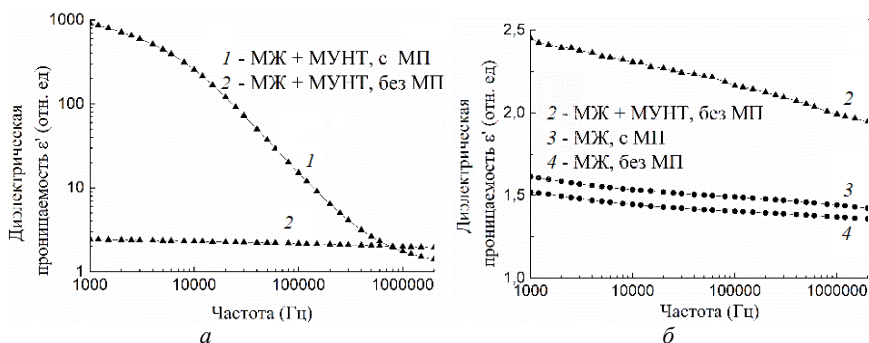


Рис. 1. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости образцов МЖ при воздействии магнитного поля, направленного перпендикулярно пластинам конденсатора

Таким образом, исходя из результатов проведённого исследования частотной зависимости ДП для образцов МЖ с добавлением и без добавления нанотрубок при различных внешних магнитных полях, можно предположить следующее использование рассмотренных образцов МЖ: а) для разработки устройств обнаружения магнитного поля; б) создания электронного ключа для цепей с частотой до 1 МГц. Особенностью этого ключа является бесконтактное управление – с помощью приложения внешнего магнитного поля с определённым направлением.

Измерения проведены на оборудовании ЦКП «Центр радиоизмерений ТГУ».

ЛИТЕРАТУРА

1. Магнитореологические жидкости: технологии создания и применение / Е.С. Беляев, А.И. Ермолаев, Е.Ю. Титов, С.Ф. Тумаков. – Нижний Новгород: Нижегород. гос. тех. ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2017. – 94 с.
2. Казарновский Д.М. Испытание электроизоляционных материалов и изделий: учебник для техникумов / Д.М. Казарновский, Б.М. Тареев. – 3-е изд. – Л.: Энергия, 1980. – 216 с.

**ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО
ТРАВЛЕНИЯ ПЛЕНКИ SiN_x НА РЕЛЬЕФ ПОВЕРХНОСТИ GaAs****С.А. Бутянов, магистр, И.В. Кутков, аспирант каф. ФЭ***г. Томск, ТУСУР, athhfb303@mail.ru*

Рассматривается метод оценки шероховатости поверхности GaAs после операции плазмохимического травления пленки SiN_x с помощью стилусного профилометра. На основе данных по шероховатости проанализировано воздействие радикалов плазмы на поверхность GaAs и выполнен подбор оптимальных параметров процесса травления нитрида кремния, осажденного на GaAs.

Ключевые слова: плазмохимическое травление, шероховатость поверхности GaAs, травление SiN_x , стилусный профилометр.

Технологический маршрут по изготовлению МИС СВЧ содержит большое количество технологических операций. Одна из проблем, которую приходится решать при внедрении операции в маршрут изготовления МИС, – сохранение чистоты и однородности поверхности полупроводниковой структуры после каждой технологической операции. В данной работе исследуется влияние на морфологию поверхности GaAs после операции плазмохимического травления капсулирующей диэлектрической пленки SiN_x . В процессе изготовления МИС может быть использовано 3–4 слоя, в каждом из которых необходимо вскрывать области. Есть области схемы, в которых стравливается диэлектрик при каждом процессе.

При создании режима травления SiN_x закладывается дополнительное время перетрава для исключения влияния колебаний в скорости травления от процесса к процессу и учета распределения скорости травления по площади образца – что означает, что какое-то время поверхность GaAs подвержена бомбардировке радикалов, образуемых плазмой. Для минимизации урона, наносимого поверхности, выполнен подбор оптимальных параметров процесса [1]: состав и соотношение потоков газов, давление, подаваемые ВЧ-мощности (W – 13,56 и 2 МГц), температура подложки. Для оценки состояния поверхности существует множество методов: стилусные и оптические профилометры, атомно-силовые микроскопы [2], электронные микроскопы. В данной работе шероховатость измерялась на стилусном профилометре. К преимуществам данного метода относятся простота использования, относительно низкая стоимость оборудования и его компактность.

Методика измерения. Для работы использовалась пластина полужолирующего GaAs с качеством поверхности EpiReady. Входная обработка пластины производилась в ДМФА и ИПС, чтобы удалить

органические загрязнения с поверхности, химическая активация в растворе соляной кислоты для удаления окислов GaAs [2]. Исследование шероховатости до осаждения SiN_x и после операции плазмохимического травления проводилось на стилусном профилометре Ambios XP-2 [3]. Осаждение диэлектрической пленки SiN_x толщиной 0,1 мкм производилось на установке Oxford Plasmalab System 100 ICP-380. После производилось разделение пластины на 8 кусков. Травление каждого образца проводилось на установке Oxford Plasmalab System 133 ICP-380 Etch. Измерение шероховатости поверхности образцов после травления производилось в 3 точках сразу после операции травления, чтобы исключить загрязнение поверхности и образование естественных оксидов GaAs на воздухе.

Результаты исследований. На основе литературных данных были подобраны параметры процесса (таблица). Шероховатость поверхности по пластине после входной обработки составила 4,33 нм. Шероховатость поверхности после травления для каждого режима представлена в таблице.

Параметры процессов и результаты измерений

№ образца	Газовая смесь	Давление, мТорр	$W_{13,56}$ МГц, Вт	W_2 МГц, Вт	Температура, °С	R_a ср, нм
1	CHF_3/O_2	50	50	–	20	5,6
2	SF_6	15	50	50	20	6,17
3	CHF_3/O_2	20	150	–	17	4,9
4	CHF_3/O_2	50	50	–	–30	5,23
5	CHF_3/O_2	50	150	–	15	5,4

Анализ полученных данных. В режимах, где использовалась газовая смесь CHF_3/O_2 , наблюдается наименьшая шероховатость поверхности GaAs. Это образцы № 1–5. В режиме, где использовался газ SF_6 , шероховатость выше, скорее всего, это связано с более высокой массой молекулы SF_6 и меньшей степенью диссоциации (образец № 2).

Режим № 3 показал наилучший результат. Воздействие плазмы на поверхность GaAs наименьшая, шероховатость поверхности 4,9 нм, при этом скорость травления в данном режиме оптимальная и составила 31 нм/мин.

Режим № 2, как единственный режим с использованием SF_6 , показал удовлетворительный результат со скоростью травления в 28 нм/мин.

Режим № 4 показал наименьшую скорость травления – 1,89 нм/мин, что для технологического процесса не подходит. С увеличением температуры процесса (режим № 1) скорость травления выросла до 6,48 нм/мин (что так же мало), шероховатость поверхности при этом осталась на таком же уровне – 5,6 нм.

Исходя из анализа полученных данных, газовая смесь CHF_3/O_2 показала наименьшее влияние на поверхность GaAs после операции плазмохимического травления пленки SiN_x . Изменение мощности, рабочего давления, температуры процесса оказывает влияние на рельеф GaAs и скорость травления SiN_x .

Работа выполнена коллективом научной лаборатории интегральной оптики и радиофотоники при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках соглашения № 075-03-2020-237/1 от 05 марта 2020 г. (внутренний номер проекта FEWM-2020-0040). Экспериментальные результаты получены с использованием оборудования ЦКП «Импульс» (регистрационный № 200568).

ЛИТЕРАТУРА

1. Сергеев А.Г. Введение в нанометрологию: учеб. пособие. – Владимир: Изд-во Влад. гос. ун-та, 2010. – 296 с.
2. Мокроусов Г.М. Перестройка твердых тел на границе твердых фаз / Под ред. Г.Г. Савельева. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1990. – 227 с.
3. Асеев А.Л. Нанотехнологии в полупроводниковой электронике / А.Л. Асеев, Н.Н. Михайлов. – Изд-во СО РАН, 2004. – 368 с.

УДК 539.217.3

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ВЛАГОСТОЙКОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ SiN_x МЕТОДОМ PECVD ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

*С.А. Бутянов, магистр; И.В. Кутков, аспирант каф. ФЭ
г. Томск, ТУСУР, athhfhb303@mail.ru*

Исследуется состав пленки нитрида кремния SiN_x по результатам ИК-спектроскопии. При помощи полученных спектров пропускания проведен качественный анализ содержания связей с водородом, а также произведено сравнение с данными деградации I_{Si} в транзисторах.

Ключевые слова: PECVD, нитрид кремния, SiN_x , влагостойкость, деградация, Si-H связи, N-H связи, ИК-спектроскопия.

Диэлектрическая пленка нитрида кремния SiN_x , полученная методом PECVD, несмотря на существование более современной технологии ICP-CVD, остается основным методом, применяемым в производстве СВЧ МИС. Основным преимуществом метода являются конформность осаждения, минимальный урон поверхности, низкие токи утечки, высокая однородность параметров пленки по пластине. Это

важно, особенно когда производится пассивация затворной области транзистора [1]. Однако наряду с преимуществами есть и недостатки. Одним из недостатков является большее содержание атомов водорода в пленке. Большое содержание водорода в виде связей Si-H и N-H негативно сказывается на плотности пленки, стабильности связей, приводит к появлению пор, что может привести к миграции кислорода и влаги к каналу транзистора и приводит к постепенной деградации его параметров [2]. Отсюда следует вывод, что для повышения влагостойкости диэлектрической пленки SiN_x необходимо подобрать параметры процесса, при которых количество водорода (связей с водородом по ИК-спектрам) будет минимальным.

Методика эксперимента. Для работы использовалась пластина полуизолирующего GaAs с качеством поверхности EpiReady. Входная обработка пластины производилась в ДМФА и ИПС, чтобы удалить органические загрязнения с поверхности, химическая активация в растворе соляной кислоты для удаления окислов GaAs. Вторая тестовая структура – пластина GaAs с гетероструктурой и готовыми тестовыми транзисторами, расколотая на 6 образцов. Далее осуществлялось осаждение диэлектрического покрытия SiN_x на образцы толщиной 0,1 мкм на установке Oxford Plasmalab System 133 PECVD. В режимах осаждения образцов варьировалось соотношение SiH_4/NH_3 и тип подаваемых мощностей – с ВЧ-мощностью или с комбинированием ВЧ/НЧ-мощностей.

Транзисторные структуры в дальнейшем ставились на наработку рабочих параметров, а образцы только с диэлектриком были помещены в камеру температуры и влажности ($T = 85^\circ\text{C}$, влажность 95%) на 100 ч. До и после камеры температуры и влажности снимались ИК-спектры [3] на ИК-Фурье-спектрометре Nicolet 6700 Thermo Scientific.

Результаты исследований. На рис. 1 представлена диаграмма деградации параметра $I_{\text{си}}$ в образцах с транзисторами. В таблице представлены результаты анализа снятых ИК-спектров пропускания образцов до и после нахождения 100 ч в камере температуры и влажности.

Из полученных данных видно, что деградация параметров транзистора имеет место у всех образцов. При использовании двух генераторов ВЧ/НЧ пленка получается плотнее. По данным таблицы, увеличение соотношения газов приводит к большему содержанию связей с Н. У образца 4 наблюдается как минимальное содержание связей с Н, так и наименьшая деградация параметров. Касаемо группы с только ВЧ-генератором, то лучшие результаты у образца № 2 с соотношением $\text{SiH}_4/\text{NH}_3 = 2:1$ – скорее всего, механизм роста пленки отличается.

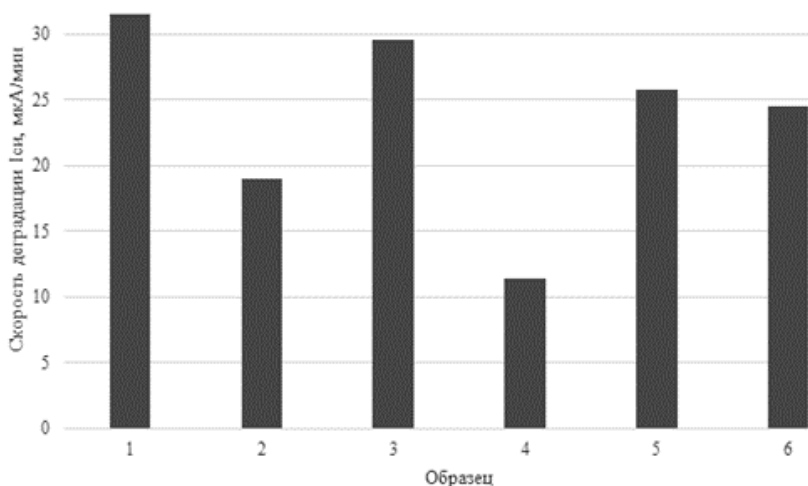


Рис. 1. Деградация $I_{си}$ в тестовых образцах

Результаты анализа ИК-спектров

№ образца	Соотношение SiH_4/NH_3	Тип подаваемой мощности	Связи с Н до печи, %	Связи с Н после печи, %
1	1:1	ВЧ	11,79	12,55
2	2:1	ВЧ	10,65	11,63
3	3:1	ВЧ	12,56	14,13
4	1:1	ВЧ / НЧ	10,5	12,05
5	2:1	ВЧ / НЧ	13,12	14,45
6	3:1	ВЧ / НЧ	14,33	15,21

Прослеживается взаимосвязь деградации параметров транзистора (рис. 1) с результатами спектров пропускания (таблица).

Работа выполнена коллективом научной лаборатории интегральной оптики и радиофотоники при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках соглашения № 075-03-2020-237/1 от 05 марта 2020 г. (внутренний номер проекта FEWM-2020-0040). Экспериментальные результаты получены с использованием оборудования ЦКП «Импульс» (регистрационный номер 200568).

ЛИТЕРАТУРА

1. SiNx PECVD Process [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.samcointl.com/portfolio/sin-pecvd/>, свободный (дата обращения: 19.09.2020).

2. Кутков И.В. Качественный и количественный анализ пленок нитрида кремния методом ИК-спектроскопии / И.В. Кутков, М.И. Пехтелев // Доклады ТУСУР. – 2014. – № 1 (31). – С. 92–94.

3. Инфракрасная спектроскопия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bestreferat.ru/referat-100744.html>, свободный (дата обращения: 10.09.2020).

УДК 537.533

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА
НА ФОРМИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННОГО
ПУЧКА С ПОМОЩЬЮ ФОРВАКУУМНОГО ИСТОЧНИКА
ЭЛЕКТРОНОВ НА ОСНОВЕ КОНТРАГИРОВАННОГО
ДУГОВОГО РАЗРЯДА**

А.В. Казаков, доцент каф. физики; А.С. Кузьмин, студент каф. ФЭ;

А.В. Медовник, доцент каф. физики

г. Томск, ТУСУР, andrykazakov@gmail.com

Увеличение давления газа приводит к увеличению диаметра поперечного сечения импульсного электронного пучка, который генерируется форвакуумным плазменным источником электронов на основе контрагированного дугового разряда.

Ключевые слова: импульсный электронный пучок, плазменный источник электронов, форвакуумный диапазон давлений.

Плазменные источники импульсных электронных пучков используются для модификации поверхностей материалов [1, 2], в частности, форвакуумные источники электронов позволяют обрабатывать диэлектрические материалы [2]. Для применения электронного пучка необходимо учитывать влияние на его параметры условий, при которых происходит генерация пучка, а также для ряда применений необходимо минимизировать влияние процессов функционирования источника электронов на газовую атмосферу. В частности, контрагирование дугового разряда позволяет экранировать катодную область разряда от области формирования эмиссионной плазмы [3], что позволяет снизить проникновение продуктов функционирования катодных пятен (паров и микрокапель материала катода) в область отбора электронов из плазмы и ускоряющий промежуток источника, а следовательно, и в область транспортировки электронного пучка. При использовании контрагированного дугового разряда для генерации эмиссионной плазмы в форвакуумном источнике электронов обнаруживаются особенности, обусловленные более высоким давлением в анодной области разряда [4].

Цель настоящей работы состояла в изучении влияния давления газа на формирование импульсного электронного пучка, генерируемого источником электронов с плазменным катодом при формировании эмиссионной плазмы контрагированным дуговым разрядом при давлениях форвакуумного диапазона.

Экспериментальная установка и методика эксперимента. Используемый для генерации импульсного электронного пучка форвакуумный плазменный источник, основанный на формировании эмиссионной плазмы с помощью контрагированного дугового разряда, описан в [4]. Источник электронов устанавливался на вакуумной камере (рис. 1), которая сначала откачивалась до 2,5 Па, затем устанавливалось рабочее давление p путем изменения скорости потока азота, подаваемого в камеру. Энергокомплекс, питающий источник электронов, обеспечивал импульсный ток контрагированной дуги $I_d = 18$ А при $\tau_d = 120$ мкс и $\nu = 1$ Гц, а также постоянное ускоряющее напряжение $U_a = 6$ кВ. Для измерения плотности тока j_e электронного пучка использовался маленький цилиндр Фарадея. Данный цилиндр помещался в заземленный защитный экран с коллимирующим отверстием диаметром 5 мм. Цилиндр и защитный экран выполнены из тантала и электрически разделены керамическим изолятором. Цилиндр с защитным экраном размещался на системе перемещения. Ток I_F в цепи заземления цилиндра Фарадея измерялся трансформатором тока.

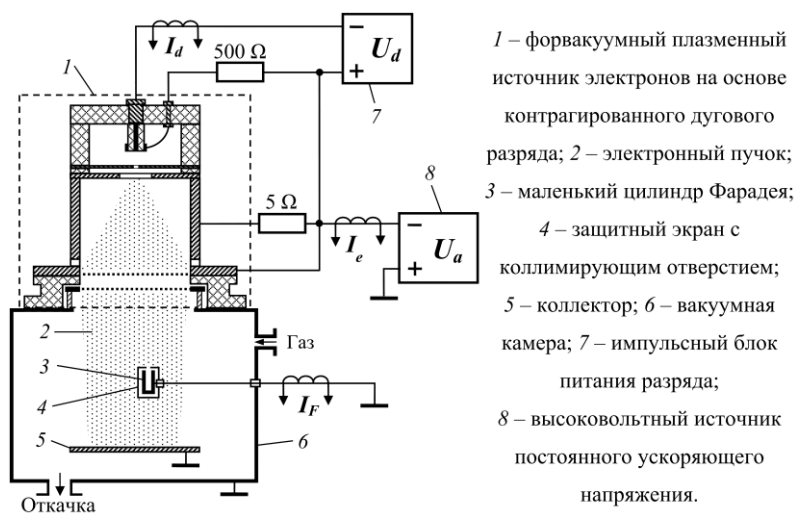


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Результаты экспериментов и их анализ. Как показали исследования, при увеличении давления p наблюдается рост тока I_e эмиссии, что приводит к возрастанию j_e . Представленные на рис. 2 нормированные радиальные распределения плотности тока j_e электронного пучка при различном давлении p свидетельствуют об изменении профиля радиального распределения плотности j_e по мере увеличения p . Увеличение давления p приводит к заметному уширению электронного пучка. Полученный результат существенно отличается от случая генерации электронного пучка форвакуумным источником на основе дугового разряда с «открытым» катодным пятном, где увеличение давления, наоборот, способствовало сжатию электронного пучка [5]. В настоящей работе полученные зависимости обусловлены спецификой формирования эмиссионной плазмы с помощью контрагированного дугового разряда в диапазоне форвакуумных давлений. Наблюдаемое уширение электронного пучка, по-видимому, вызвано повышением эффективности генерации эмиссионной плазмы вблизи анодной сетки, т.е. области отбора электронов при увеличении p , что связано с ростом тока обратного ионного потока из пучковой плазмы.

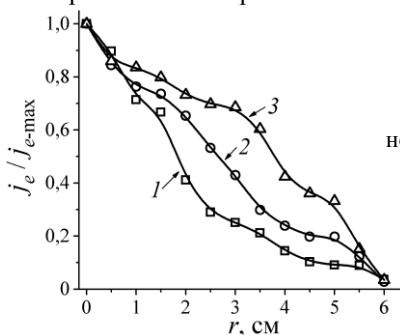


Рис. 2. Радиальные распределения нормированной плотности тока $j_e/j_{e-\max}$ электронного пучка:
1 – $p = 8 \text{ Па}$; 2 – $p = 9,6 \text{ Па}$;
3 – $11,6 \text{ Па}$

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-3621.2021.4.

ЛИТЕРАТУРА

1. Engelko V.I., Mueller G. Microsecond intense electron beams for industrial applications // IEEE Transaction on Plasma Science. – 2013. – Vol. 41. – P. 2769–2773.
2. Климов А.С. и др. Применение форвакуумных плазменных источников электронов для обработки диэлектриков. – Томск: Изд-во ТУСУРА, 2017. – 186 с.
3. Окс Е.М. Источники электронов с плазменным катодом: физика, техника, применения. – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – 216 с.
4. Kazakov A.V., Medovnik A.V., Oks E.M., Panchenko N.A. Parameters and characteristics of a pulsed constricted arc discharge operating in a forevacuum-

pressure plasma-cathode electron beam source // Vacuum. – 2021. – Vol. 186. – P. 110071.

5. Kazakov A.V., Medovnik A.V., Oks E.M., Panchenko N.A. Broad-beam plasma-cathode electron beam source based on a cathodic arc for beam generation over a wide pulse-width range // Review of Scientific Instruments. – 2020. – Vol. 91. – P. 093304.

УДК 538.953

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДЛОЖКИ НА ПАРАМЕТРЫ И СТРУКТУРУ МЕДНЫХ ПЛЕНОК, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

А.Е. Шестериков, Д.А. Шестерикова, студенты каф. ФЭ

Научный руководитель П.Е. Троян, зав. каф. ФЭ, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, shesterikov.a.e@mail.ru

Приведены исследования влияния температуры подложки в процессе магнетронного распыления на изменение электрофизических параметров медных пленок. Показано, что при осаждении пленок меди с ростом температуры подложки происходит уменьшение удельного объемного сопротивления и шероховатости.

Ключевые слова: тонкие медные пленки, магнетронное распыление, температура подложки, удельное сопротивление, шероховатость.

Получение высококачественных и воспроизводимых по параметрам тонкопленочных покрытий является одной из актуальных задач микроэлектроники [1]. Температура подложки при напылении – это один из важнейших параметров, который влияет на структуру, скорость напыления, а также электрические параметры получаемых пленок. Цель данной работы заключается в исследовании зависимости параметров тонких медных пленок от температуры подложки.

Методика эксперимента. В ходе проведения исследования были пройдены следующие стадии:

1. *Выбор материала подложки.* В качестве материала подложки было выбрано стекло с целью облегчения исследования толщины получаемых пленок.

2. *Обработка подложек* производилась путем протирки поверхности изопропиловым спиртом.

3. *Магнетронное распыление.* Пленки меди получали методом магнетронного распыления в вакуумной камере. Схема установки представлена на рис. 1. Стабилизация производилась по мощности. В качестве рабочего газа использовался аргон.

В табл. 1 указаны условия получения пленок, где T – температура подложки; $P_{\text{стаб}}$ – мощность стабилизации; h – расстояние между подложкой и магнетроном; P – установившееся давление; Ar – процентное содержание аргона в камере; t – время работы магнетрона.

Таблица 1

Условия получения пленок

№ опыта	1	2	3	4
$T, ^\circ\text{C}$	30	100	200	300
$P_{\text{стаб}}, \text{Вт}$	250			
$h, \text{мм}$	215			
$P, \text{Торр}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$			
$Ar, \%$	30			
$t, \text{с}$	600			



Рис. 1. Устройство рабочей камеры установки напыления

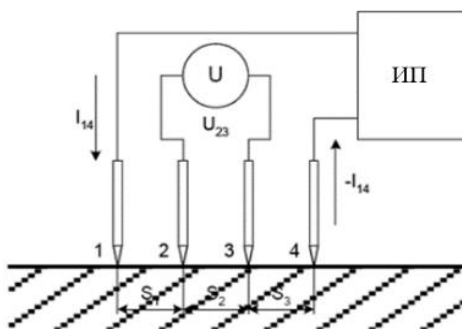


Рис. 2. Схема четырехзондового метода определения удельного сопротивления

4. *Определение удельного объемного сопротивления.* Для нахождения удельного объемного сопротивления был выбран четырехзондовый метод (рис. 2).

Описание метода. Через зонды 1 и 4 пропускается ток (I), подаваемый от источника питания (ИП). С помощью милливольтметра измеряется падение напряжения между зондами 2 и 3 (U). На основе измеренных тока и напряжения находится удельное поверхностное сопротивление по формуле

$$\rho_s = \frac{\pi \cdot U}{\ln 2 \cdot I} = 4,532 \cdot \frac{U}{I}. \quad (1)$$

Тогда $\rho_v = \rho_s \cdot d$.

Толщина пленки (d) определяется с помощью интерферометра МИИ-4М (Ломо, Россия).

5. *Определение шероховатости и структуры поверхности пленки.* Для определения шероховатости и структуры поверхности пленки использовался сканирующий зондовый микроскоп Nanoeducator I (NT-MDT SI, Россия).

Результаты и их анализ. В табл. 2 приведены результаты расчетов средних значений удельного поверхностного и объемного сопротивлений с использованием четырехзондового метода.

Данные констатируют уменьшение удельного объемного сопротивления пленок с ростом температуры подложки при напылении.

Таблица 2
Результаты измерений

$T, ^\circ\text{C}$	$d, \text{нм}$	$\rho_s, \text{Ом}$	$\rho_v, \text{нОм}\cdot\text{м}$
30	108	0,30	32,4
100	123	0,37	45,5
200	142	0,09	12,8
300	156	0,08	12,5

В большей степени уменьшение удельного объемного сопротивления медной пленки связано с изменением в ее структуре.

Анализ структуры пленок был проведен с помощью сканирующего зондового микроскопа. Рельеф полученных поверхностей и значения их средней шероховатости (R) представлены на рис. 3.

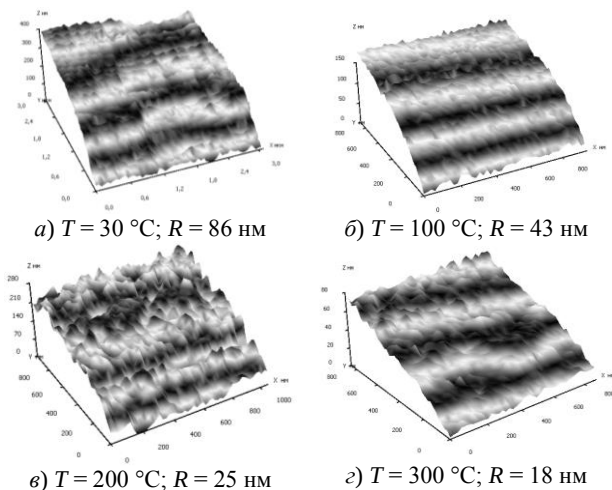


Рис. 3. Рельеф поверхностей пленок и значения их средней шероховатости для различных температур

Полученные данные показывают, что нагревание подложки в процессе напыления позволяет получать более гладкие медные пленки с меньшим значением шероховатости и удельного объемного сопротивления в диапазоне температур от 30 до 300 °С. Данную закономерность можно объяснить увеличением размеров кристаллитов с ростом температуры поверхности подложки [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Джумалиев А.С. Магнетронное осаждение тонких пленок Cu (200) на подложки Ni(200)/SiO₂/Si / А.С. Джумалиев, Ю.В. Никулин, Ю.А. Филимонов // Журнал технической физики. – 2014. – Т. 84, вып. 7. – С. 152–155.
2. Майссел Л. Технология тонких пленок (справочник): в 2 т. – Т. 2 / под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга. – Нью-Йорк, 1970. – 753 с.

ПОДСЕКЦИЯ 2.4

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

*Председатель – Семёнов В.Д., проф. каф. ПрЭ, к.т.н.;
сопредседатели – Михальченко С.Г., зав. каф. прЭ, д.т.н., проф.;
Оскирко В.О., н.с. лаб. прикладной электроники ИСЭ СО РАН,
технический директор ООО «Прикладная электроника», к.т.н.*

УДК 621.311.69

ВЫБОР КОРРЕКТИРУЮЩЕГО ЗВЕНА В СРЕДЕ MATLAB/SIMULINK ДЛЯ РЕВЕРСИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ТРАНЗИСТОРНО-ТРАНСФОРМАТОРНЫМ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫМ МОДУЛЕМ В ПРЯМОМ РЕЖИМЕ

*К.Ж. Калжанов, магистрант; Д.Б. Бородин, техник ЛИМЭС
Научный руководитель В.Д. Семенов, проф. каф. ПрЭ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, svd@ie.tusur.ru*

Рассматривается реверсивный преобразователь с транзисторно-трансформаторным выпрямительным модулем, работающий в режиме непрерывного тока, было получено корректирующие звено и построена одноконтурная система, обеспечивающая заданные характеристики в прямом направлении.

Ключевые слова: корректирующее звено, реверсивный преобразователь, имитационная модель преобразователя.

В [1] представлены семейства источников питания с транзисторно-трансформаторным выпрямительным модулем (ТТВМ), позволяющие получить необходимые значения тока и напряжения. В работе [2] предложена реализация реверсивного режима работы этого преобразователя. Для этого выходные диоды были заменены на транзисторные ключи. На рис. 1 представлена схема реверсивного преобразователя с ТТВМ, которая и будет исследоваться.

При подаче импульсов управления на силовые ключи VT1, VT2 реверсивный преобразователь работает в повышающем (прямом) режиме. Параметры токов и напряжений, заданные для прямого режима работы, имеют следующие значения: напряжение входного питания – 100 В. Выходное напряжение – 220 В. Ток нагрузки не более 15 А.

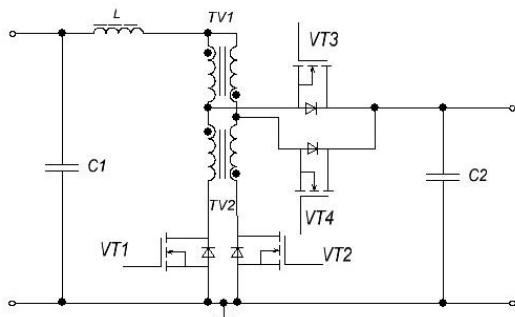


Рис. 1. Схема исследования реверсивного преобразователя ТТВМ

Исследование реверсивного преобразователя как элемента системы автоматического регулирования (САР) – актуальная задача в силовой электронике из-за устойчивости к возмущающим влияниям. Параметры элементов: индуктивность дросселя L 45 мкГн, индуктивность каждой из обмоток автотрансформатора TV1 и TV2 60 мкГн, емкость конденсатора $C = 60$ мкФ. Транзисторы VT1, VT2, VT3, VT4 приняты идеальными. На рис. 2 будет приведена имитационная модель преобразователя.

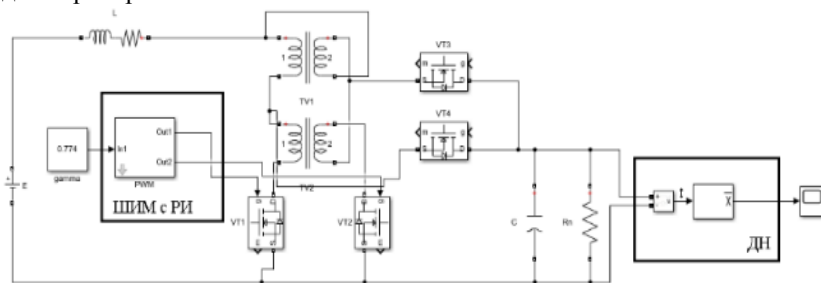


Рис. 2. Имитационная модель преобразователя

Имитационная модель преобразователя содержит в своём составе широтно-импульсный модулятор ШИМ и распределитель импульсов РИ. В качестве датчика напряжения ДН применяются измеритель напряжения Voltage measurement и блок среднего значения Mean.

Среда MATLAB/Simulink разрешает с поддержкой имитационной модели идентифицировать линеаризованную в рабочей точке передаточную функцию преобразователя. Идентификация выполняется по экспериментальным частотным характеристикам, определение которых проведено с поддержкой способа синусоидальной волны [3]. Этот способ заключается в формировании синусоидального сигнала малой

амплитуды, смещенного на постоянную величину, определяющую рабочую точку преобразователя по выходному напряжению.

На основе экспериментальных данных ЛАЧХ и ЛФЧХ была идентифицирована линейризованная передаточная функция нескорректированного преобразователя, которая представлена ниже:

$$W(p) = \frac{963(8,82 \cdot 10^{-6} p + 1)}{9,7 \cdot 10^{-5} p^2 + 2,3 \cdot 10^{-8} p + 1}.$$

Логарифмические частотные характеристики разомкнутой скорректированной САР представлены на рис. 3, из которого видно, что запас устойчивости по амплитуде составляет 16 дБ, а по фазе – 64,4°.

Для контура в прямом режиме было выбрано звено, состоящее из последовательно соединённых звеньев: интегрирующего и инерционно-форсирующего.

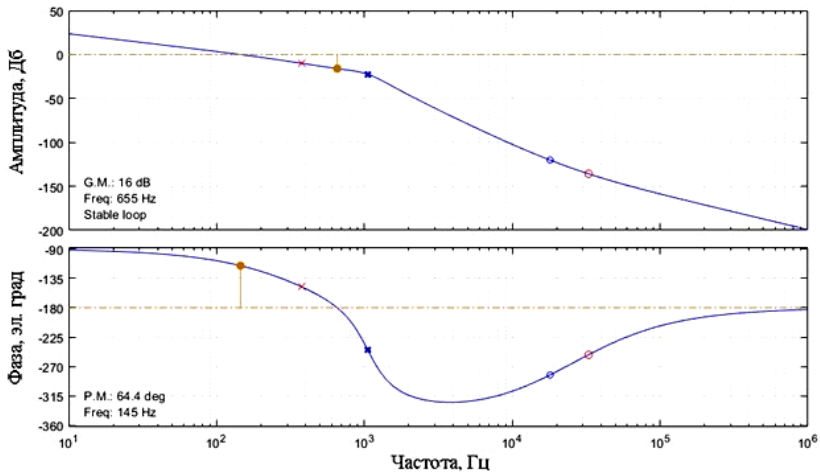


Рис. 3. Логарифмические частотные характеристики разомкнутой скорректированной САР в прямом режиме

Передаточная функция корректирующего звена имеет вид

$$W_{\text{кз}}(p) = \frac{(4,8 \cdot 10^{-6} p + 1)}{p(4,2 \cdot 10^{-4} p + 1)}.$$

Следующим шагом является проверка динамических характеристик, которые обеспечиваются с помощью выбранного корректирующего звена и замкнутой цепи обратной связи преобразователя. Большой интерес всегда представляет реакция замкнутой имитационной модели преобразователя на внешние воздействия.

На рис. 4 представлены диаграммы переходных процессов преобразователя, вызванные резким изменением входного напряжения и тока нагрузки.

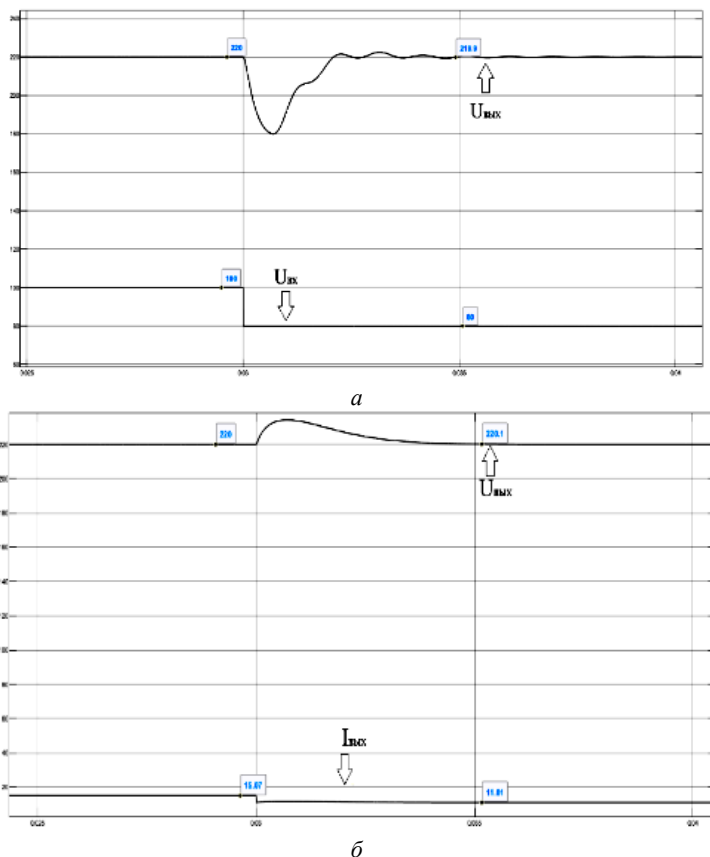


Рис. 4. Реакция одноконтурной системы преобразователя на изменение входного напряжения – *a*, тока нагрузки – *б*

Из рис. 4, *a* видно, что при изменении входного напряжения от 100 до 80 В перерегулирование напряжения составляет около 14%. При увеличении сопротивления нагрузки на 50% перерегулирование по выходному напряжению составляет около 9%.

Заключение. На основании представленных результатов, полученных при исследовании имитационной модели реверсивного преобразователя с одноконтурной системой, можно сделать вывод о полез-

ности и желательности использования среды MATLAB/SIMULINK для синтеза корректирующего звена в прямом режиме работы преобразователя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Li Y., Zheng T.Q., Chen Q. Research on High Efficiency Non-Isolated Push-Pull Converters with Continuous Current in Solar-Battery Systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.6113/JPE.2014.14.3.432>, свободный (дата обращения: 20.12.2014).
2. Калжанов К.Ж., Бородин Д.Б. Имитационное моделирование силовых преобразователей с транзисторно-трансформаторным выпрямительным модулем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://storage.tusur.ru/files/137816/2020-1.pdf>, свободный (дата обращения: 01.02.2021).
3. Семенов А.Д., Артамонов Д.В., Брюхачев А.В. Идентификация объектов управления: учеб. пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003. – 211 с.

УДК 53.083.91

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ РАСХОДА И РАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В.А. Кузьмина, студентка;

Р.И. Фазатдинов, вед. электроник ООО «НПП ТЭК»

Научный руководитель В.М. Саюн, доцент каф. ПрЭ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, dubowik.walya@gmail.com

Представлены функциональная схема устройства контроля расхода и равномерности распределения жидкости в многоканальной гидравлической системе, а также временные диаграммы мгновенного напряжения на резисторе для различных вариантов сечения струи.

Ключевые слова: термообработка, контроль расхода, закалка, сечение струи, гидравлические выходы, измерительный электрод.

Устройство контроля расхода и равномерности распределения жидкости по каналам многоканальной гидравлической системы используется в металлургическом производстве для контроля расхода и равномерной подачи жидкости на поверхность охлаждаемых изделий/материалов, например, металлопроката, в частности, рельсов при термообработке.

Существует множество различных способов закалки рельсов [1, 2]. Самой распространенной для углеродистых и легированных сталей является закалка в одном охладителе. При применении данного способа нагретую деталь погружают в закалочную жидкость и оставляют до полного охлаждения.

Закалочной средой могут служить вода, воздух, масло, а также водно-воздушная смесь. В рассматриваемом устройстве используется водно-воздушная смесь, вследствие чего необходимо обеспечить контроль объема поступающей в жидкостную камеру жидкости, а также равномерности ее распределения. Этот способ успешно развивается в ООО «НПП Томская электронная компания» и защищен патентом [3].

Преимуществом такого устройства является не только повышение стабильности и качества технологического процесса, но и обеспечение контроля временных параметров струй и их сечений при прохождении через гидравлические выходы.

На рис. 1 представлена функциональная схема устройства контроля расхода и равномерности струй жидкости.

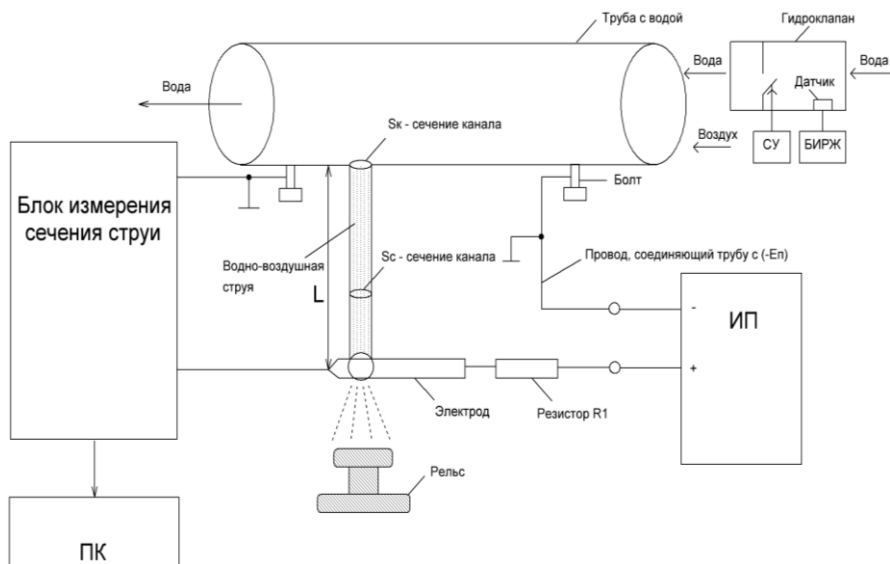


Рис. 1. Функциональная схема устройства

Устройство работает следующим образом. Жидкость поступает через измеритель расхода (гидроклапан с системой управления и датчиком расхода жидкости) в жидкостную камеру (см. на рис. 1 – труба с водой) и далее выпускается через гидравлические выходы. На рис. 1 показан только один выход. Величина, характеризующая общий расход жидкости за заданный промежуток времени, фиксируется в блоке измерения расхода жидкости (БИРЖ). В камеру одновременно может нагнетаться воздух, процентное содержание которого в струе можно изменять. Водно-воздушная струя при выпуске замыкает участок

электрической цепи между измерительным и общим электродами для протекания тока. Образуется делитель напряжения: резистор R1-электрод и резистор (водно-воздушная струя). Ток, протекающий через делитель, создает падение напряжения на резисторе (водно-воздушная струя), которое измеряется и выводится на монитор оператора. Напряжение на резисторе зависит от L – длины струи, S_c – сечения струи и удельного электрического сопротивления жидкости.

Суть измерений заключается в контроле сечения струи, а точнее, сечения канала, через который истекает струя. Проблема вызвана отложением солей, что приводит к уменьшению сечения канала и, соответственно, к ухудшению показателей качества закалки рельсов.

На рис. 2 изображены временные диаграммы мгновенного напряжения U_i на резисторе (водно-воздушной струе) для различных вариантов сечения струи: в «штатном и нештатном режимах».

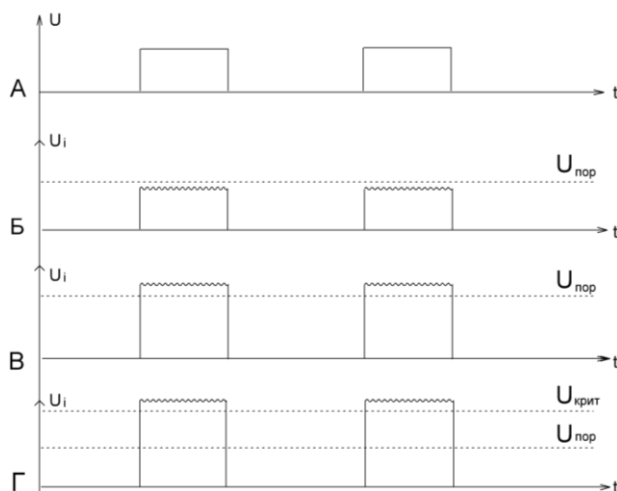


Рис. 2. Временные диаграммы мгновенного напряжения U_i для различных вариантов сечения струи

На рис. 2, А показан сигнал управления U гидроклапаном. Под действием импульса гидроклапан откроется, появится давление в гидравлической системе и начнется распыление водно-воздушных струй. При отсутствии импульса истечение струй прекращается.

На рис. 2, Б изображен «штатный режим». $U_i < U_{\text{пор}}$. Мгновенное значение напряжения U_i меньше напряжения порога $U_{\text{пор}}$. Сечение канала соответствует требованиям технологического процесса.

На рис. 2, В показан «некритичный режим» струи. $U_i > U_{\text{пор}}$. Сечение канала истечения струи перекрыто частично. Технологический

процесс закалки не останавливается. Однако показали качества закалки рельсов ухудшаются и изменяется марка изделия.

На рис. 2, G представлен «критичный режим». $U_i > U_{\text{крит}}$. Истечение жидкости из канала практически или полностью перекрыто. Технологический процесс и в этом случае продолжается, поскольку в очереди стоят еще несколько раскаленных рельсов. Далее проводится комплекс мероприятий. Определяется число каналов, которые вышли в «критический режим». Измеряются показатели качества закалки рельсов и решается вопрос о промывке каналов кислотой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закалка рельсов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный. – <https://www.pro-parovoz.ru/index.php/component/k2/221-zakalka-relsov> (дата обращения: 12.03.2021).
2. Проблемы эксплуатации и неразрушающего контроля рельсов с приведенным износом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный. – <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-ekspluatatsii-i-nerazrushayuschegokontrolya-relsov-s-privedennym-izno-som/viewer> (дата обращения: 12.03.2021).
3. Патент на устройство контроля расхода и равномерности распределения жидкости многоканальной гидравлической системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный. – <https://patents.google.com/patent/WO2016036268A1/ru> (дата обращения: 12.03.2021).
4. Methods of detecting and correcting spray header malfunctions [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный. – <https://patents.google.com/patent/US4932232> (дата обращения: 12.03.2021).

УДК 621.314.58

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧЕТЫРЕХПОРТОВОГО ДВУНАПРАВЛЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

***В.С. Безруков, магистрант каф. ПрЭ; Н.С. Легостаев, проф., к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, vb.7.9@mail.ru***

Описаны особенности использования преобразователей напряжения с несколькими возобновляемыми источниками энергии, представлена имитационная модель преобразователя, приведены результаты анализа имитационной модели преобразователя в среде MATLAB-Simulink.

Ключевые слова: преобразователь напряжения, возобновляемые источники энергии, двунаправленный преобразователь.

Одно из перспективных решений проблемы электроснабжения направлено на разработку и внедрение интеллектуальных энергосистем с активно-адаптивной сетью (SMART GRID в англоязычной ли-

180

тературе), основу которых, как правило, составляют возобновляемые источники энергии (ВИЭ), например, фотоэлектрические модули (ФЭМ) и ветроэнергетические установки (ВЭУ), а также различные устройства интеллектуальной силовой электроники (SMART POWER) [1].

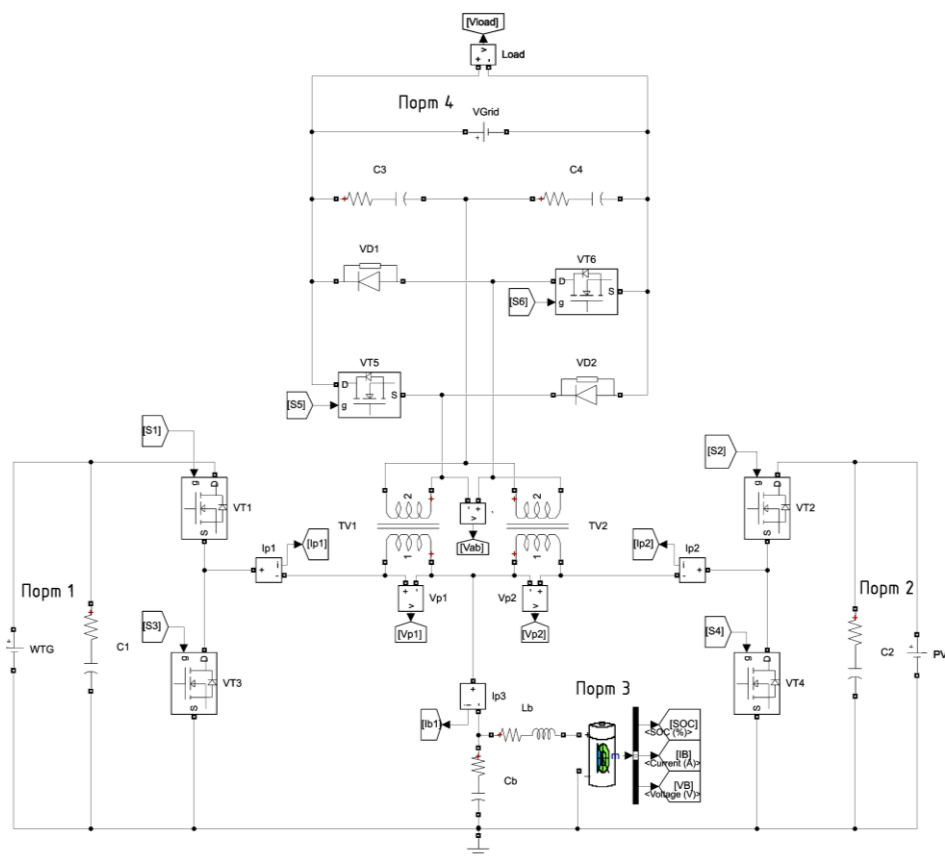
Интеллектуальная энергосистема, включающая ФЭМ, ВЭУ и устройства хранения энергии, например аккумуляторные батареи (АКБ), по существу является системой гарантированного электропитания (СГЭП). Реализация такой СГЭП возможна за счет применения отдельных преобразователей для каждого источника энергии либо за счет использования одного многопортового двунаправленного преобразователя. Многопортовый двунаправленный преобразователь обеспечивает больший уровень мощности при меньших массогабаритных показателях в сравнении с реализацией энергосистемы на отдельных преобразователях. Кроме того, в многопортовых преобразователях легче управлять потоком энергии между портами, чем при использовании нескольких отдельных преобразователей, поскольку не требуется никакой дополнительной связи, как в случае с отдельными преобразователями. Многопортовые преобразователи разделяются на неизолированные и изолированные. При этом в изолированных многопортовых преобразователях более гибко решается вопрос согласования уровней напряжений ВИЭ с уровнями напряжений нагрузки и устройств хранения энергии.

Модель четырехпортового двунаправленного преобразователя напряжения для возобновляемых источников энергии, разработанная в среде MATLAB-Simulink, представлена на рис. 1, а. ФЭМ и ВЭУ подключаются к портам 1 и 2 соответственно. Устройства хранения энергии подключаются к двунаправленному порту 3. Электрическая сеть и нагрузка подключаются к двунаправленному порту 4. Двунаправленный преобразователь порта 3 обеспечивает заряд АКБ портами 1 или 2. Двунаправленные преобразователи портов 3 и 4 обеспечивают режимы заряда АКБ от электрической сети или разряда АКБ на нагрузку.

Четырехпортовый двунаправленный преобразователь напряжения для возобновляемых источников энергии получен путем разделения мостовой топологии с фазовым управлением на два независимых полумостовых преобразователя, каждый из которых управляется двумя независимыми широтно-импульсными модуляторами (ШИМ). Контроль величины энергии между портами 1, 2 и 4 осуществляется за счет изменения относительной длительности d_1 включенного состояния транзисторов VT1, VT3 и относительной длительности d_2 включенного состояния транзисторов VT2, VT4. Изменением фазового уг-

ла сдвига δ управляющих импульсов транзисторов VT5, VT6 относительно длительности d_1 включенного состояния транзисторов VT1, VT3 происходит регулирование режима заряда АКБ от питающей сети, если $\delta < 0,5$, либо режима отдачи избыточной энергии в электрическую сеть, если $\delta > 0,5$ [2].

Осциллограммы имитационной модели четырехпортового двунаправленного преобразователя напряжения для ВИЭ представлены на рис. 1, б. Осциллограммы рис. 1, б соответствуют режиму работы порта 1 при заряде АКБ от электрической сети, что достигается при $\delta = 0,45$. При этом напряжения и токи портов 1 и 2 сдвинуты относительно друг друга на π .



a

Рис. 1 (начало)

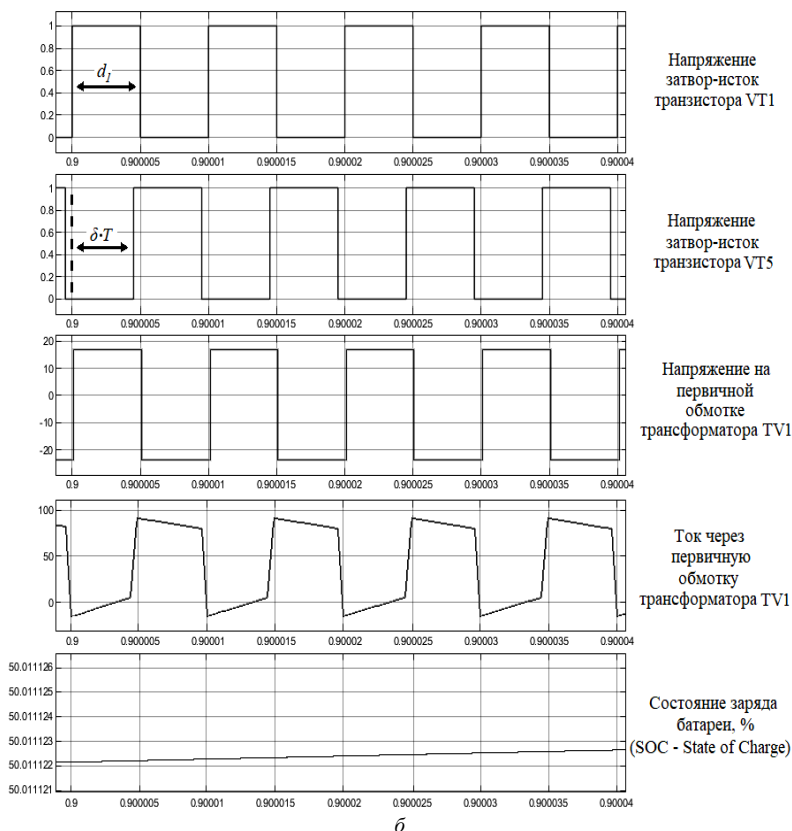


Рис. 1 (окончание). Имитационная модель четырехпортового двунаправленного преобразователя напряжения для возобновляемых источников энергии в среде MATLAB-Simulink (а); осциллограммы напряжений (б)

Значения параметров модели следующие: частота коммутации транзисторов $f_k = 100$ кГц; напряжение порта 1 $U_1 = 40$ В; напряжение порта 2 $U_2 = 60$ В; напряжение батареи $U_b = 24$ В; $d_1 = d_2 = 0,5$; $\delta = 0,45$; $L_b = 10$ мкГн; $C_b = 100$ мкФ; $U_{\text{вых}} = 180$ В. Мощность трансформатора TV1 четырехпортового двунаправленного преобразователя при $d_1 = d_2 = 0,5$ определяется системой уравнений:

$$P = \begin{cases} \frac{U_{\text{вых}} \cdot U_1}{2n \cdot L_s \cdot f_k} \cdot (-4\delta^2 + 2\delta), & 0 < \delta < 0,5, \\ \frac{U_{\text{вых}} \cdot U_1}{2n \cdot L_s \cdot f_k} \cdot (4\delta^2 - 6\delta + 2), & 0,5 \leq \delta < 1, \end{cases}$$

где n – коэффициент трансформации, определяемый отношением числа витков вторичной стороны к первичной стороне трансформатора TV1, $n = n_2/n_1$; L_s – индуктивность рассеяния трансформатора TV1.

Модель четырехпортового двунаправленного преобразователя напряжения для возобновляемых источников энергии в среде MATLAB-Simulink обеспечивает анализ электромагнитных процессов с учетом параметров реальных компонентов схемы. Результаты моделирования с точностью, не превышающей 7%, совпадают с результатами математической модели, представленной в работе [2]. Модель правомерно использовать для исследования электромагнитных процессов и энергетических показателей изолированного четырехпортового преобразователя, например автономных энергосистем на базе фотоэлектрических модулей и ветроэнергетических установок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мелешин В.И. Разработка и производство инновационных устройств силовой электроники для энергосистем с ВИЭ // Матер. междунар. конгресса REENCON-XXI «Возобновляемая энергетика XXI век: энергетическая и экономическая эффективность». 13–14 октября 2016 г. – М.: ОИВТ РАН, 2016. – С. 226–228.
2. Ning J. A Four-port Bidirectional DC-DC Converter for Renewable Energy-Battery-DC Microgrid System / J. Ning, J. Zeng, X. Du // 2019 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE). – 2019. – P. 6722–6727. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8912185> (дата обращения: 11.12.2020).

УДК 621.311.69

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА С ПОМОЩЬЮ ТОКОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

*Е.А. Чеботарев, студент; Д.Б. Бородин, электроник каф. ПрЭ;
В.Д. Семенов, проф. каф. ПрЭ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, chebotarev-egor@mail.ru*

Представлено исследование схемы синхронизации последовательного колебательного контура, в которой для управления транзисторами используется интегральная микросхема в совокупности с сигнальным трансформатором тока.

Ключевые слова: автоколебательный мост, управляющая микросхема, биполярный транзистор, управляющий трансформатор, частота преобразователя.

На сегодняшний момент в мировой сфере разработки балластов и компактных флуоресцентных ламп набирает популярность способ управления транзисторами на основе автоколебательного моста. В

нем сочетается простота автоколебательной системы с микросхемой управления для обеспечения работы полумоста с использованием недорогих биполярных транзисторов, которые могут обеспечить регулируемый выход [1].

Суть данного способа управления в том, что в управляющем токовом трансформаторе в схеме автоколебательного контура [2] добавляется дополнительная обмотка, к которой подключается управляющая микросхема. Это позволяет микросхеме синхронизировать автоколебания контура, полностью контролировать частоту контура и управлять ею. При этом устраняются недостатки, присущие автоколебательному преобразователю. Для управления частотой микросхема замыкает управляющую обмотку в тот момент, когда требуется переключение моста. Таким образом, частота преобразователя будет определяться системой управления и не будет зависеть от времени накопления заряда транзистора или базового управляющего трансформатора. На рис. 1 показаны схемы преобразователя [3], поясняющие метод управления транзисторами с помощью токового трансформатора, который получил название [1] технологии управляемых автоколебаний.

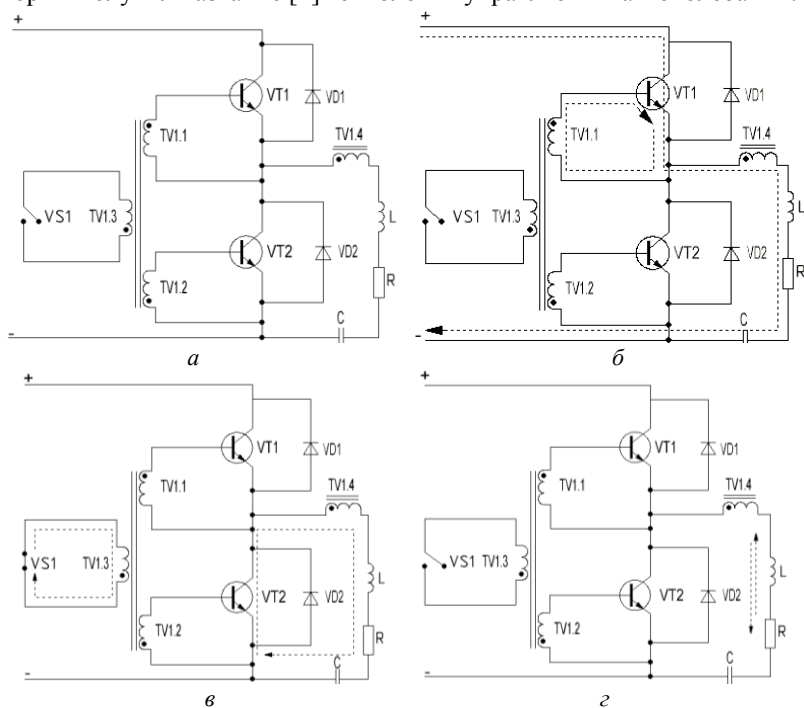


Рис. 1 (начало)

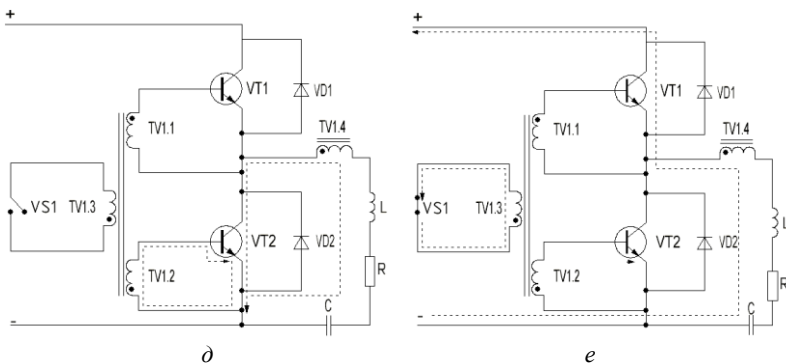


Рис. 1 (окончание). Схемы коммутация тока и последовательность переключения транзисторов, управляющих автоколебаниями: *а* – типовая схема, использующая технологию управляемых колебаний; *б* – схема на этапе колебаний (ток в TV1.4 и из TV1.1); *в* – схема на этапе начала коммутации (закорачивание управляющей обмотки микросхемы и коммутации напряжения); *г* – схема резонансной принудительной коммутации (резонансная энергия реверсирует ток); *д* – схема при включении второго транзистора (микросхема разрешает включение, ток из TV1.4 и в TV1.2); *е* – схема принудительной коммутации

Колебания на рис. 1, *а* инициируются пусковым управляющим импульсом, при этом открывается транзистор VT1, ток от источника питания протекает через обмотку управляющего трансформатора TV1.4, открытый транзистор VT1 и резонансный колебательный контур преобразователя (см. рис. 1, *б*). Ток вторичной обмотки трансформатора тока TV1.1 втекает в базу транзистора VT1, поддерживая его во включенном состоянии. В контуре происходит колебательный процесс. Начало коммутации происходит после замыкания обмотки управляющего трансформатора TV1.3, ток в это время течет по резонансному колебательному контуру по часовой стрелке (см. рис. 1, *в*). После этого накопленная резонансная энергия реверсирует ток, и он начинает течь в обратном направлении (см. рис. 1, *г*). При этом транзистор VT2 принудительно открывается вторичным током обмотки TV1.2, а транзистор VT1 закрывается. Через колебательный контур протекает ток обратного направления (против часовой стрелки), как показано на рис. 1, *д*, поддерживая включенным транзистор VT2. Транзистор VT2 закрывается при размыкании обмотки управляющего трансформатора, когда ток течет уже от отрицательной шины к положительной через резонансный колебательный контур (см. рис. 1, *е*).

Данный способ управления транзисторными ключами преобразователя позволит осуществить и улучшить два основных момента:

1. Весь базовый ток управления обеспечивается токовым трансформатором. Базовый ток потребляется от микросхемы только при запуске колебаний в преобразователе, что уменьшает потребление тока микросхемой управления.

2. Микросхема изменяет частоту колебаний, замыкая обмотку управления. Это означает, что частота работы преобразователя определяется не временем восстановления транзистора или параметрами силового трансформатора [1], а микросхемой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайт компании RediSem. RediSem's Patented Transistor Drive Circuit [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.redisem.com/index_html_files/AN2113%20RediSem%20Transistor%20Drive%20Circuit_Rev01.pdf, свободный (дата обращения: 07.12.2020).

2. Чеботарев Е.А., Бородин Д.Б. Источник постоянного тока со схемой двойного накопления заряда // Матер. науч.-практ. конф. «Научная сессия ТУСУР–2020».

3. Чеботарев Е.А., Бородин Д.Б. Исследование влияния параметров управляющего трансформатора тока на работу полумостового резонансного преобразователя со схемой двойного накопления заряда // Матер. науч.-практ. конф. «Научная сессия ТУСУР–2021» (в печати).

УДК 621.311.69

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЗАРЯДНО-РАЗРЯДНОГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ТРАНЗИСТОРНО-ТРАНСФОРМАТОРНЫМ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫМ МОДУЛЕМ

К.Ж. Калжанов, магистрант; Д.Б. Бородин, техник ЛИМЭС;

И.Е. Гедзенко, аспирант каф. ПрЭ;

В.Д. Семенов, проф. каф. ПрЭ, к.т.н.

*Научный руководитель В.Д. Семенов, проф. каф. ПрЭ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, svd@ie.tusur.ru*

Рассматривается имитационная модель зарядно-разрядного устройства, для которого получены корректирующие звенья и построена двухконтурная система автоматического регулирования, обеспечивающая заданные статические и динамические характеристики.

Ключевые слова: корректирующее звено, имитационная модель импульсного преобразователя.

В [1] представлена работа источника питания с транзисторно-трансформаторным выпрямительным модулем (ТТВМ), работающим в прямом режиме для разряда аккумуляторной батареи. На рис. 1

представлена двухконтурная схема автоматического регулирования устройства на ТТБМ для заряда и разряда аккумуляторной батареи.

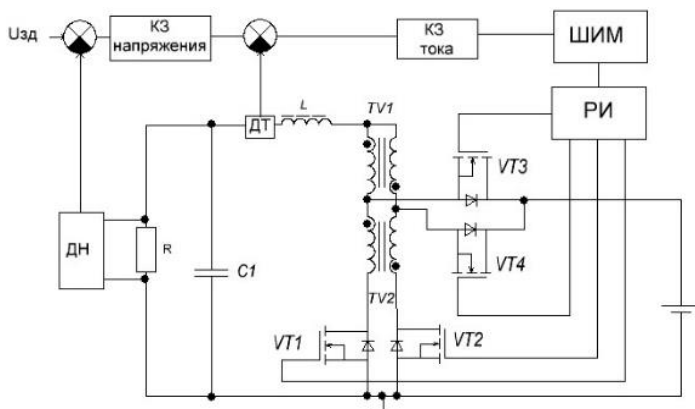


Рис. 1. Двухконтурная схема преобразователя с ТТБМ

Параметры токов и напряжений, заданные для обратного режима работы, имеют следующие значения: Напряжение входного питания – 320 В. Выходное напряжение – 100 В. Ток нагрузки не более 20 А.

Индуктивность дросселя $L = 45$ мкГн. Индуктивность каждой из обмоток автотрансформатора TV1 и TV2 75 мкГн. Емкость конденсатора $C = 60$ мкФ. Транзисторы VT1, VT2, VT3, VT4 приняты идеальными.

На рис. 2 представлена имитационная модель преобразователя, построенная в среде MATLAB/Simulink.

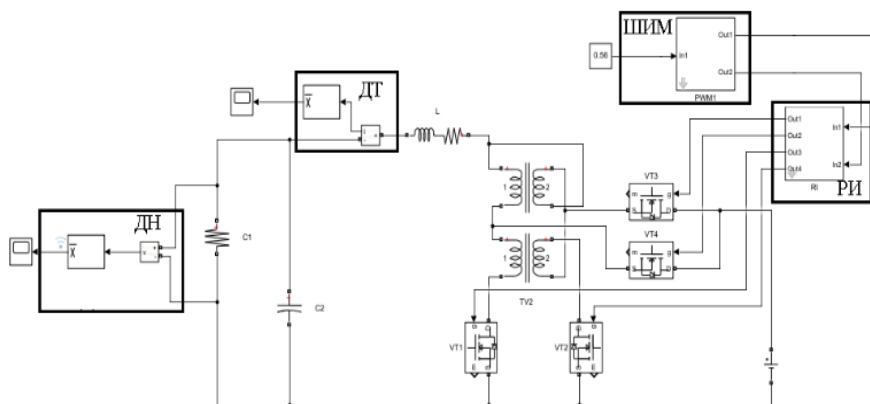


Рис. 2. Имитационная нелинейная модель преобразователя в MATLAB/Simulink

Имитационная модель преобразователя содержит в своём составе широтно-импульсный модулятор ШИМ и распределитель импульсов РИ. Датчик напряжения ДН состоит из измерителя напряжения Voltage measurement и блока Mean. Датчик тока ДТ использует измеритель тока Current measurement и блока Mean.

Идентификация модели для получения передаточной функции реализована в среде MATLAB/Simulink. Идентификация осуществляется по экспериментальным частотным характеристикам, которая происходит с использованием метода синусоидальной волны [2].

На основе экспериментальных данных были идентифицированы ЛАЧХ и ЛФЧХ, а также линеаризованная передаточная функция нескорректированного преобразователя, которая имеет вид

$$W(p) = \frac{66(2,074 \cdot 10^{-4} p + 1)}{(1,685 \cdot 10^{-5} p + 1)(9,393 \cdot 10^{-5} p + 1)}.$$

Частотные характеристики разомкнутого скорректированного преобразователя представлены на рис. 3. Запас устойчивости составляет по амплитуде 20 дБ, а по фазе – 60°.

Поочередно выбирались звенья для контуров по току (см. рис. 3, б) и напряжению (см. рис. 3, а), состоящие из последовательно соединённых интегрирующего и форсирующего звеньев, имеющих, соответственно, следующий вид:

$$W_{\text{кзн}}(p) = \frac{8047(7,8 \cdot 10^{-5} p + 1)}{p}, \quad W_{\text{кзн}}(p) = \frac{2048(7,7 \cdot 10^{-6} p + 1)}{p}.$$

Для проверки поведения системы с использованием корректирующих звеньев, полученных при линеаризации модели реверсивного преобразователя, были получены переходные процессы на изменение входного напряжения и сопротивления нагрузки в режиме обратной передачи (заряд АБ).

На рис. 4 представлены временные диаграммы переходных процессов в обратном режиме, протекающие при изменении входного напряжения и тока нагрузки.

Из рис. 4, а представлено изменение входного напряжения от 320 до 280 В, перерегулирование напряжения выхода составляет около 2%. При повышении сопротивления нагрузки на 100% перерегулирование по выходному напряжению не более 8%.

Заключение. В результате исследования имитационной модели реверсивного преобразователя с двухконтурной системы был получен вывод о допустимости использования имитационных моделей для синтеза корректирующих звеньев по току и напряжению.

Для работы САР в обоих режимах необходимо схемотехнически реализовать распределитель импульсов, обеспечивающий переход системы из прямого режима в обратный, и наоборот, по величине сигнала рассогласования.

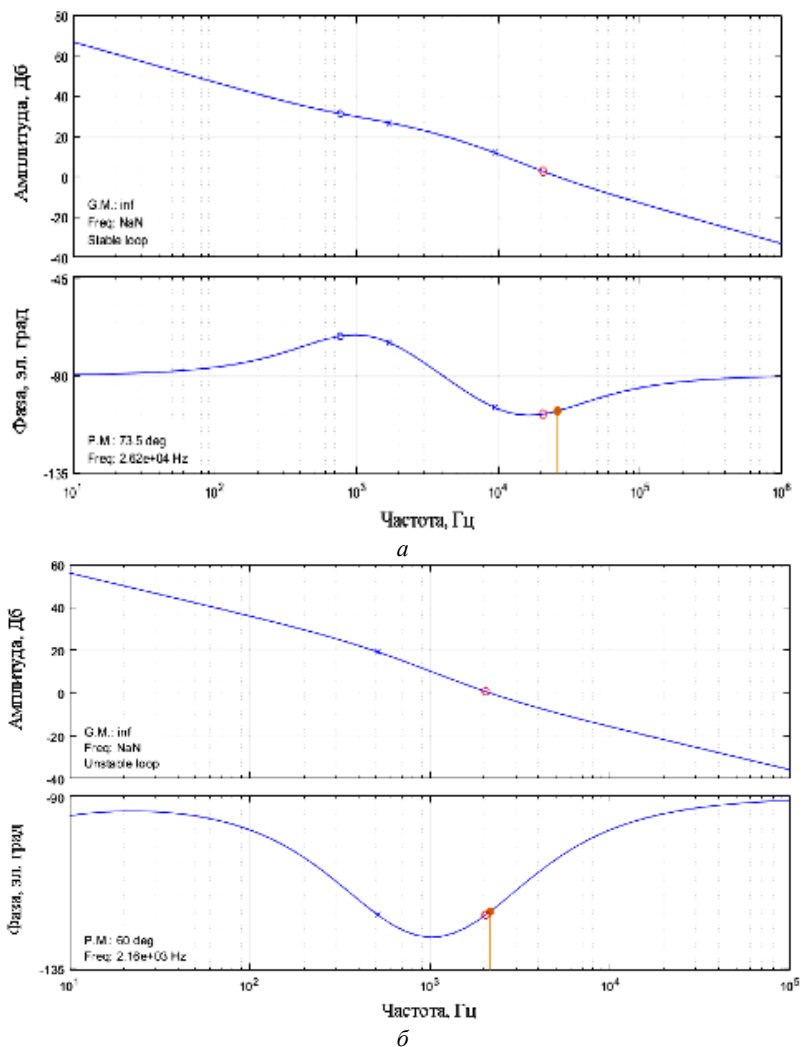


Рис. 3. Экспериментальные линеаризованные частотные характеристики разомкнутого скорректированного преобразователя: по напряжению – а; по току – б

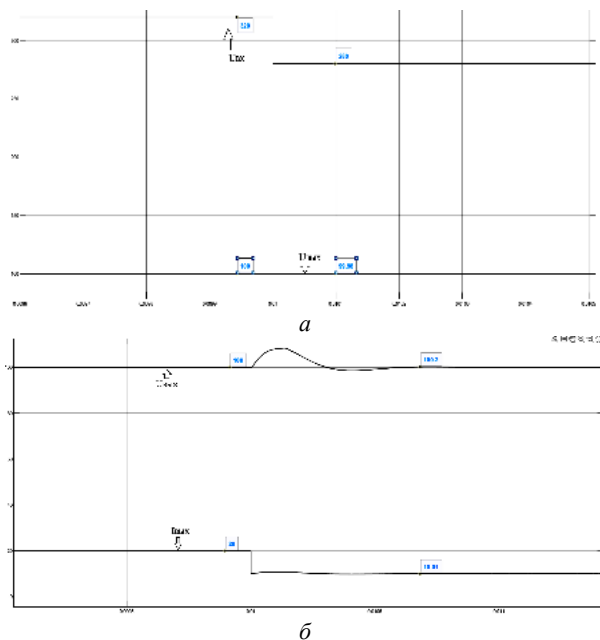


Рис. 4. Реакция двухконтурной системы преобразователя:
на изменение входного напряжения – *a*; сопротивление нагрузки – *б*

ЛИТЕРАТУРА

1. Калжанов К.Ж., Бородин Д.Б. Выбор корректирующего звена в среде MATLAB/Simulink для реверсивного преобразователя с транзисторно-трансформаторным выпрямительным модулем в прямом режиме [Электронный ресурс]. – Режим доступа: в печати.
2. Семенов А.Д., Артамонов Д.В., Брюхачев А.В. Идентификация объектов управления: учеб. пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003. – 211 с.

УДК 621.365.63

ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ ПРИ ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ ВРАЩАЮЩИМИСЯ ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

В.А. Шарыгин, аспирант каф. ПрЭ

*Научный руководитель С.Г. Михальченко, зав. каф. ПрЭ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, slava.sharygin@mail.ru*

Представлены исследования индукционного нагрева магнитным полем постоянных магнитов. Исследовались влияния температуры нагреваемого объекта на параметры физической цепи, такие как си-

ла вихревых токов нагреваемого объекта, мощность удельных потерь, скорость нагрева объекта, вращающий момент, создаваемый нагреваемым объектом, зависимости коэрцитивной силы магнита. Температура нагреваемого объекта влияет на электрические и магнитные характеристики всей системы, однако через воздушный зазор тепло практически не передается на магниты за исследуемый промежуток времени.

Ключевые слова: индукционный нагрев, постоянные магниты, магнитное поле, частота, индукция, температура, имитационная модель.

Принцип индукционного нагрева постоянными магнитами (ПМ) заключается в следующем: к нагреваемому металлическому объекту прикладывается магнитное поле, генерируемое ПМ. Затем полярность ПМ изменяется с некоторой частотой, генерируя вихревые токи, которые нагревают металлический объект.

Принимая нагреваемую металлическую заготовку как участок системы, к которой прикладываются два магнита, меняющие свою полярность с частотой 600 Гц, расположенные на магнитопроводе, можно представить его в виде электрической схемы замещения, показанной на рис. 1.

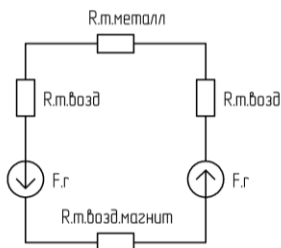


Рис. 1. Электрическая схема магнитной цепи с магнитопроводом

Уравнения Кирхгофа для контура

$$\begin{aligned} 2 \cdot F_r &= 2 \cdot F_{\text{возд}} + F_{\text{металл}} + F_{\text{ст}}, \\ 2 \cdot H_r \cdot h_r &= 2 \cdot \Phi \cdot R_{\text{м.возд}} + \Phi \cdot R_{\text{м.металл}} + \Phi \cdot R_{\text{м.ст}}, \\ 2 \cdot H_r \cdot h_r &= \Phi \cdot (2 \cdot R_{\text{м.возд}} + R_{\text{м.металл}} + R_{\text{м.ст}}). \end{aligned}$$

По закону Ома магнитный поток равен

$$\Phi = 2 \cdot H_r \cdot h_r / (2 \cdot R_{\text{м.возд}} + R_{\text{м.металл}} + R_{\text{м.ст}}),$$

где F_r – МДС ПМ; $F_{\text{возд}}$ – МДС в воздушном зазоре; $F_{\text{металл}}$ – МДС в нагреваемом металле; $F_{\text{ст}}$ – МДС в магнитопроводе; H_r – коэрцитивная сила ПМ; h_r – высота ПМ; $R_{\text{м.возд}}$ – магнитное сопротивление воздушного зазора, $R_{\text{м.металл}}$ – магнитное сопротивление нагреваемого металла; $R_{\text{м.ст}}$ – магнитное сопротивление магнитопровода, Φ – магнитный поток.

На основе расчета получены зависимости вращающего момента, создаваемого нагреваемой заготовкой от температуры (рис. 2).

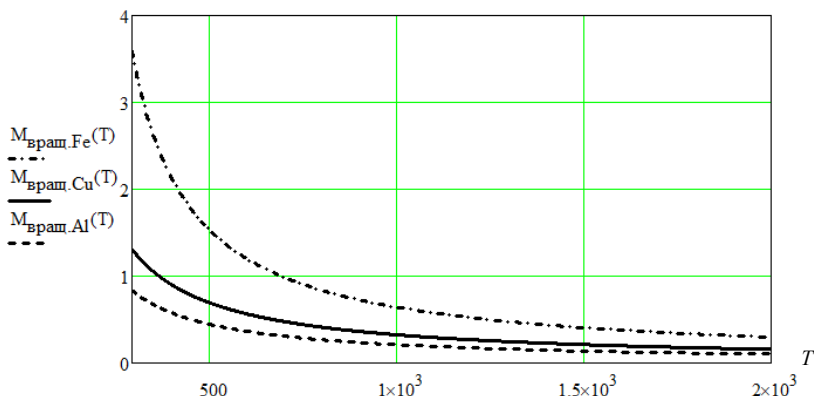


Рис. 2. Зависимость вращающего момента (Н*м) от температуры (К)

Методом трассировки графика зависимости мощности тепловых потерь от температуры нагреваемой заготовки можно определить насколько нагреется заготовка с течением времени. Временной промежуток нагрева принят равным 10 с (рис. 3).

$$T(t) = \frac{P(T) \cdot t}{m \cdot C} + T_0,$$

где $T(t)$ – зависимость температуры нагреваемого металла от времени, $P(T)$ – зависимость мощности тепловых потерь в металле от температуры, t – время, m – масса нагреваемого металла, C – теплоемкость нагреваемого металла, T_0 – температура окружающей среды.

Тепло от нагреваемого объекта передается на барабан с магнитами через воздушный зазор путем теплопередачи

$$P_{\text{возд}}(t) = \lambda_{\text{возд}} \cdot \frac{S(T(t) - T_0)}{l_{\text{возд}}},$$

где $\lambda_{\text{возд}}$ – теплопроводность воздушного зазора; S – площадь поверхности, через которую проходит магнитный поток; $l_{\text{возд}}$ – длина воздушного зазора.

Путем излучения

$$P_{\text{изл}}(t) = C_{\text{изл}} \cdot \phi \cdot S \cdot \left[\left(\frac{T_0}{100} \right)^4 - \left(\frac{T(t)}{100} \right)^4 \right],$$

где $C_{\text{изл}}$ – коэффициент теплового излучения, ϕ – угловой коэффициент.

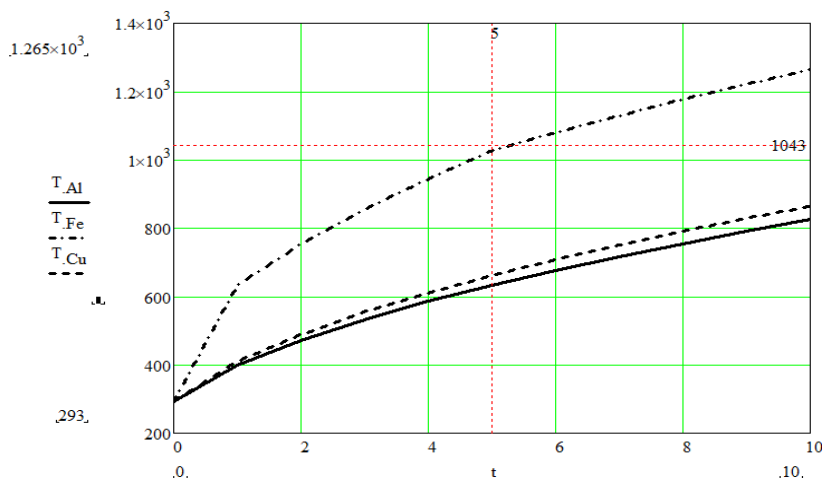


Рис. 3. Зависимость температуры нагреваемой заготовки (K) от времени (с)

Тепло, в свою очередь, влияет на характеристики самого магнита. Движущиеся детали принимаются условно гладкими, не вызывающими воздушные потоки, поэтому теплопередачей путем конвекции решено пренебречь.

Зависимость температуры магнита (K) от времени нагрева заготовки (с) представлена на рис. 4.

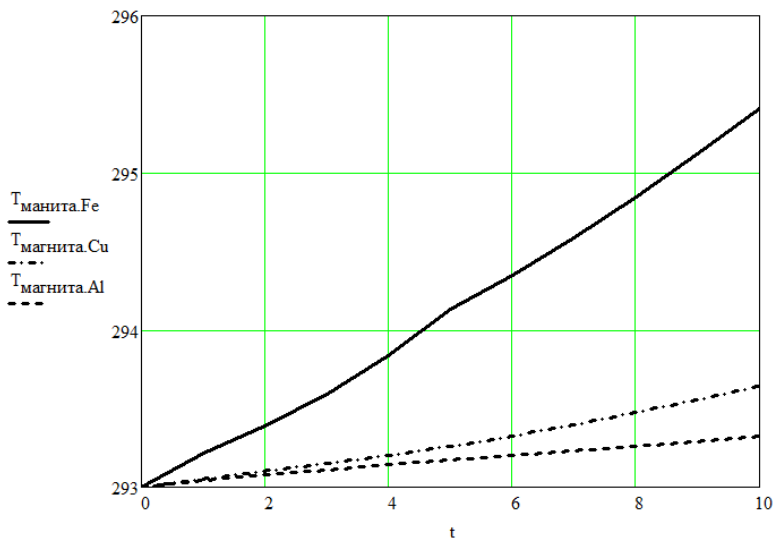


Рис. 4. Зависимость температуры магнита (K) от времени (с)

Разработана методика расчета физических процессов в устройстве индукционного нагрева вращающимися постоянными магнитами. Данная методика наиболее полно отражает специфику протекания процессов.

На основе методики произведен расчет физической замкнутой цепи передачи энергии от источника к нагреваемой заготовке, влияние заготовки на источник энергии.

Выявлены зависимости от температуры и времени для участков физической цепи:

- механический вращающий момент, создаваемый нагреваемой заготовкой, с увеличением температуры самой заготовки уменьшается по гиперболе;

- передача тепла от нагреваемой заготовки к магнитам незначительна, и ею можно пренебречь.

- температура нагреваемой заготовки на начальном участке увеличивается по экспоненте, затем увеличивается по прямой.

Следовательно, магнитная индукция и магнитный поток – константы.

Выводы. При расчете магнитной цепи устройства индукционного нагрева вращающимися ПМ, необходимо учитывать влияние температуры нагреваемого объекта на электрические и магнитные характеристики всей системы. Однако влиянием передачи тепла от нагретого металлического объекта магнитам можно пренебречь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проскуряков М.В., Силин А.М. Вихревые токи. – М.: Моск. политехн. ун-т, 2015. – 5 с.

2. Тимофеев И.А. Удельные потери в ферромагнетике. – Режим доступа: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=753> (дата обращения: 04.03.2021).

3. Характеристики неодимовых магнитов. – Режим доступа: <http://ferrite.ru/products/magnets/ndfeb/> (дата обращения: 04.03.2021).

4. Расчет магнитной цепи. – Режим доступа: <https://www.ess-ltd.ru/electro/magnitnje-seri.php> (дата обращения: 04.03.2021).

5. Шарыгин В.А., Михальченко С.Г. Устройство индукционного нагрева постоянными магнитами // Матер. науч.-практ. конф. «Научная сессия ТУСУР». – Томск: В-Спектр, 2020.

ПРИНЦИП РАБОТЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ОГРАНИЧИТЕЛЯ ТОКА

И.О. Суховерков, аспирант каф. ПрЭ

*Научный руководитель С.Г. Михальченко, доцент, д.т.н., зав. каф. ПрЭ
г. Томск, ТУСУР, syhoverkovio@gmail.com, msg@ie.tusur.ru*

Проведено описание части искрозащитного барьера с точки зрения его функционирования и безопасности согласно ГОСТ 31610.11–2014 [1]. Данный метод оценки работоспособности и критических режимов работы защитных цепей и выходных каскадов является обязательным при разработке искробезопасных источников питания. Схемы ограничителей напряжения на основе стабилизатора известны широко, однако, в среде барьеров обеспечения искробезопасности к этой схеме прилагаются дополнительные специфические требования.

Ключевые слова: искробезопасность, защитные цепи, взрывоопасные среды, ограничители напряжения, неповреждаемость.

Для ограничения тока использованы параллельные ограничивающие каскады.

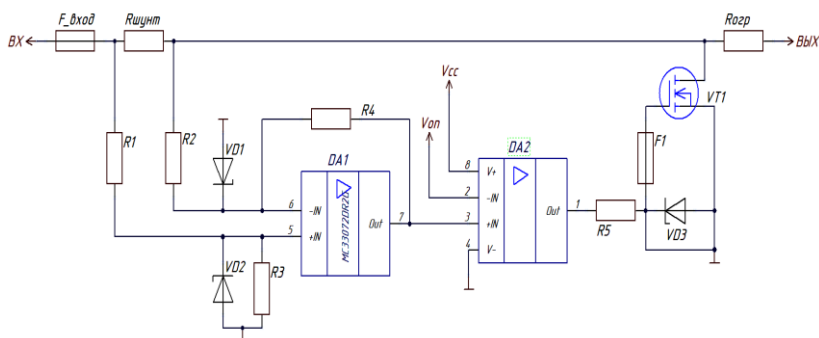


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная параллельного ограничителя тока

Принцип работы устройства основан на работе шунта, дифференциального усилителя, триггера и MOSFET-транзистора.

Максимальный ток нагрузки протекает через шунтирующий резистор $R_{шунт}$ и создаёт падение напряжения. Входное и выходное напряжение шунта поступает на вход операционного усилителя DA1. Разница увеличивается первым каскадом – дифференциальным усилителем на операционном усилителе (DA1.1). Коэффициент усиления

выбирается с помощью резисторов R1, R2, R3, R4. Вторым каскадом операционного усилителя (DA1.2) происходит сравнение сигнала измеренного и усиленного значения с эталонным. Как только значение на выходе диффузителя уравнивается заданным, на выход DA1.2 поступает питающее операционный усилитель напряжение. С помощью параметрического стабилизатора напряжение понижается до значения, в 1,5 раза меньшее, чем максимально допустимое на затворе VT1. Этот уровень напряжения открывает транзистор. Сток транзистора подключен к цепи питания после шунтирующего резистора. Исток – на общий контакт «–». Таким образом, образуется положительная обратная связь. И как только ток в цепи нагрузки превышает заданное значение, эта схема замыкает шину питания на землю. При этом условии образуется делитель, верхним плечом которого является суммарное сопротивление предохранителя и резистора шунта, а нижним плечом будет являться сопротивление открытого канала. При условии, что суммарное сопротивление верхнего плеча сотни, а нижнего – единицы, выходное напряжение будет в разы меньше, чем номинальное. Выходной ток будет обусловлен этим сниженным напряжением и сопротивлением ограничительного резистора, который установлен последовательно с нагрузкой (или в случае с КЗ на выходе, замкнут на общую минусовую шину).

Выводы. Данная схема является шунтирующей выходное напряжение, но имеющей обратную связь по току. Основной режим работы данной схемы – ключевой, т.е. при превышении установленного значения тока схема закорачивает выход источника питания на землю и практически полностью убирает напряжение на нагрузке. Максимальный ток в режиме короткого замыкания выходов источника питания обусловлен сваленным напряжением и выходным ограничивающим резистором. За счёт уменьшения выходного напряжения в режиме КЗ выходной ток является также незначительным. Комплекс таких мер позволяет добиваться полной искробезопасности в режимах короткого замыкания на выходе.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 31610.11–2014 (IEC 60079-11:2011). Взрывоопасные среды. – Ч. 11: Оборудование с видом взрывозащиты «Искробезопасная электрическая цепь «i»», дата введения 2016-12-01. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200121999> (дата обращения: 10.12.2020).

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ АВТОМОБИЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ С МНОГОПЕТЛЕВОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MATLAB SIMULINK

Е.В. Васильева, А.В. Васильев, магистранты

*Научный руководитель В.Д. Семенов, к.т.н., проф. каф. ПрЭ
г. Томск, ТУСУР, mariell@sibmail.com*

Рассмотрен способ регулирования напряжения источника питания в зависимости от амплитудного значения напряжения на нагрузке усилителя мощности, промоделирована и проанализирована имитационная модель системы автомобильного УМЗЧ с применением пакета программ Matlab.

Ключевые слова: усилитель мощности звуковой частоты (УМЗЧ), обратная связь, многопетлевая обратная связь, имитационная модель, Matlab, Simulink.

В настоящее время все более широкое распространение получают мощные автомобильные аудиосистемы. Сегодня это отдельный класс аудиоиндустрии, где применяются усилители звуковой частоты высокой мощности, которая может достигать 30 кВт. В качестве нагрузки здесь используется динамическая головка, характер нагрузки активно-индуктивный с выраженными резонансными пиками [1]. В процессе работы усилителя мощности звуковой частоты (УМЗЧ) [2] полное сопротивление нагрузки изменяется в широком диапазоне в зависимости от частоты сигнала.

Классический автомобильный УМЗЧ содержит в себе: преобразователь напряжения, который преобразует низкое напряжение источника питания – аккумуляторной батареи в более высокое, и усилитель мощности. Выходная мощность УМЗЧ варьируется в широком диапазоне в зависимости от значения полного сопротивления нагрузки.

Предлагаемая система УМЗЧ позволяет поддерживать заданную мощность в нагрузке независимо от ее полного сопротивления. Это достигается путем введения в систему многопетлевой обратной связи (ОС), которая позволяет работать источнику питания и усилителю мощности как единой системе, изменяя выходные параметры преобразователя источника питания для обеспечения максимального тока или напряжения в зависимости от полного сопротивления нагрузки.

На рис. 1 изображена функциональная схема системы УМЗЧ, состоящая из источника питания $U_{акб}$, преобразователя напряжения, усилителя мощности, нагрузки Z_H и систем автоматического управления (САУ): САУ преобразователя напряжения и САУ УМЗЧ. Преоб-

преобразователь напряжения состоит из гальванически развязанного преобразователя со средней точкой первичной обмотки трансформатора и непосредственного понижающего преобразователя (НПН) [3]. САУ УМЗЧ содержит отрицательные обратные связи (ООС) по току и напряжению, тем самым обеспечивая ограничение по максимальному току и напряжению на нагрузке [2]. САУ преобразователя напряжения имеет внутреннюю ООС, обеспечивая стабилизацию выходного напряжения НПН [3], и общую положительную обратную связь (ПОС), обеспечивая коррекцию значения напряжения задающего сигнала преобразователя напряжения.

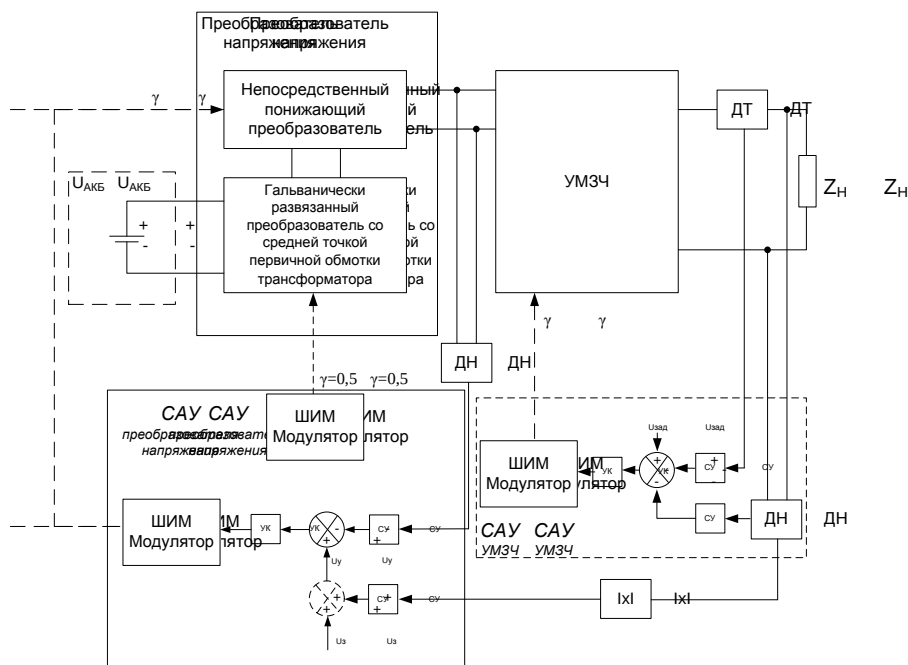


Рис. 1. Функциональная схема системы УМЗЧ

В зависимости от амплитуды напряжения в нагрузке САУ преобразователя напряжения корректирует значение выходного напряжения, требуемого для обеспечения заданной мощности в нагрузке. При низком значении сопротивления нагрузки НПН обеспечивает максимальное значение тока, при высоком значении сопротивления нагрузки НПН обеспечивает максимальное значение напряжения. Таким образом, введением в систему преобразователя НПН достигается ва-

рирование параметров напряжения и тока на выходе преобразователя напряжения, которые обеспечивают поддержание выходной мощности на нагрузке УМЗЧ в полном диапазоне сопротивления нагрузки. Осциллограммы выходного напряжения, полученные на имитационной модели, представлены на рис. 2.

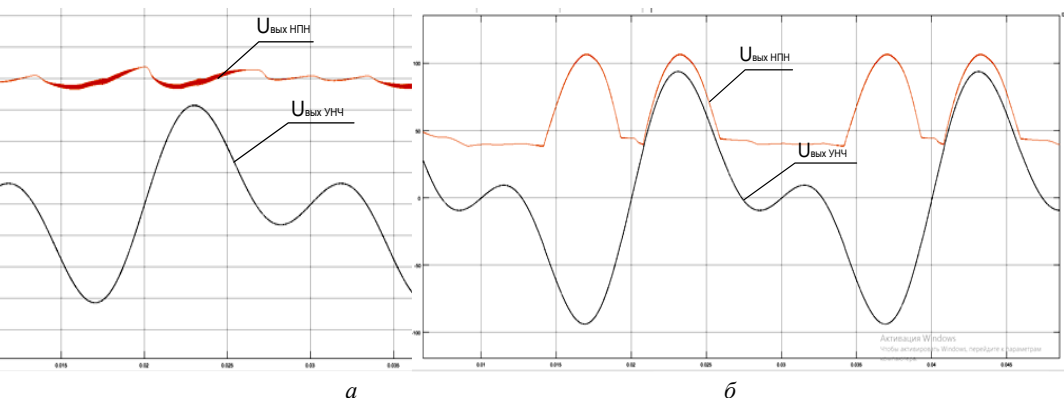


Рис. 2. Осциллограммы выходного напряжения:

a – при сопротивлении нагрузки 1 Ом; *б* – при сопротивлении нагрузки 4 Ом

Как видно из осциллограмм, многопетлевая ОС обеспечивает регулирование значения выходного напряжения преобразователя в зависимости от амплитуды напряжения в нагрузке.

Заключение. Построенная и исследованная имитационная модель показывает работоспособность многопетлевой системы управления в структуре УМЗЧ. Результаты показывают, что использование НПН в структуре преобразователя напряжения позволяет регулировать выходное значение напряжения, обеспечивая постоянство мощности на выходе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алдошина И.А. Электродинамические громкоговорители. – М.: Радио и связь, 1989. – 272 с.
2. Остапенко Г.С. Усилительные устройства: учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1980. – 400 с.
3. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2006. – 632 с.

ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ЗАРЯДНО-РАЗРЯДНОГО УСТРОЙСТВА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ГИБРИДНОГО АВТОТРАНСПОРТА

Ю.Э. Воронин, магистрант; А.И. Бартенев, аспирант;

Д.В. Семенов, проф. каф. ПрЭ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. ПрЭ, svd@ie.tusur.ru

Рассмотрена реализация многофазности преобразователя с целью повышения мощности и снижения требований к пассивным элементам. Произведен выбор контроллера, позволяющего выровнять токи между фазами.

Ключевые слова: гибридный автотранспорт, аккумуляторная батарея, низкий уровень, высокий уровень, двухсторонний преобразователь, синхронный непосредственный преобразователь, многофазность, контроллер.

В современной электронике замечается тенденция роста мощности преобразователей, вызванного растущей мощностью и разнообразием потребителей. Система электропитания гибридного автотранспорта подразумевает применение аккумуляторных батарей. Часто встречаются стартер-генераторные установки, объединенные с системой электропитания на аккумуляторных батареях двух уровней: высоким, как правило, 48 В, для питания стартера, рулевого управления, климатической системы и других мощных потребителей; и низким, привычные 12 (24) В, для питания системы освещения, электроники и др. В таких случаях должны применяться двунаправленные преобразователи для энергообмена между аккумуляторными батареями.

После обзора разнообразных схем двунаправленных преобразователей, была выбрана схема синхронного непосредственного преобразователя понижающего типа (рис. 1). Данный преобразователь имеет простейшую схему, в состав которой входят всего два ключа и только один дроссель.

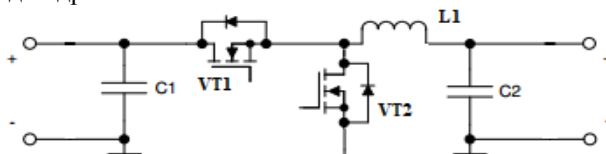


Рис. 1. Схема синхронного преобразователя понижающего типа

Для увеличения эффективности и сокращения стоимости применяемых элементов выбираем параллельное соединение двух преобразователей (рис. 2).

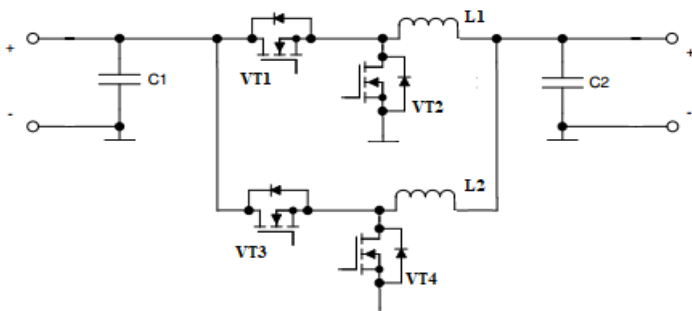


Рис. 2. Схема двухфазного синхронного преобразователя понижающего типа

Была построена имитационная модель, на которой получены графики токов дросселей и суммарный ток двухфазной схемы (рис. 3). При подключении второй фазы эквивалентная частота удваивается, что видно на графике рис. 3. При идеальном делении токов по фазам токи дросселей уменьшаются в два раза.

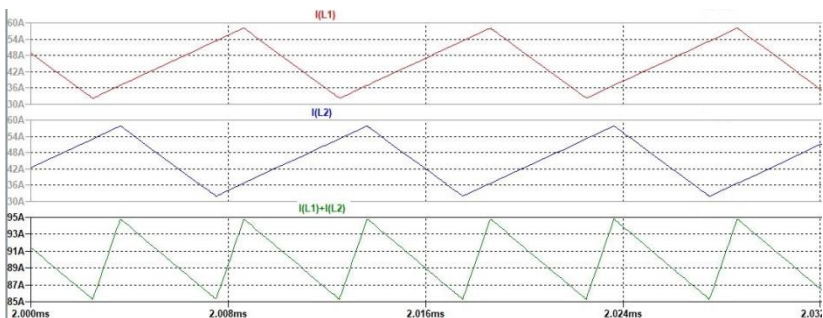


Рис. 3. Токи дросселей двухфазной схемы и их сумма на выходе

Применение параллельного соединения преобразователей позволяет уменьшить ток единичного дросселя [1].

$$I_{L_{cp}} = \frac{I_H}{N}, \quad (1)$$

где I_H – ток нагрузки, N – количество фаз.

Уменьшается вдвое необходимая емкость конденсатора C_1 (зависимость от частоты f)

$$C_1 = \frac{\gamma_{\min} (1 + k_H) I_H}{2 U_H f k_H}. \quad (2)$$

А емкость конденсатора C_2 уменьшается в четыре раза.

$$C_2 = \frac{(1 - \gamma_{\min})}{16L_f^2 k_H}. \quad (3)$$

Несмотря на ощутимые преимущества многофазного преобразователя, существует проблема в реализации реально работающего устройства. Из-за того, что реальные элементы и проводники не идеальны, происходит неравномерное распределение токов по фазам преобразователя. Для решения данной задачи по выравниванию токов ведущие производители полупроводниковых приборов, такие как Analog Devices, Texas Instrument, выпускают специальные контроллеры. Из представленных на рынке контроллеров был выбран контроллер LM5170-Q1 от компании Texas Instrument (рис. 4).

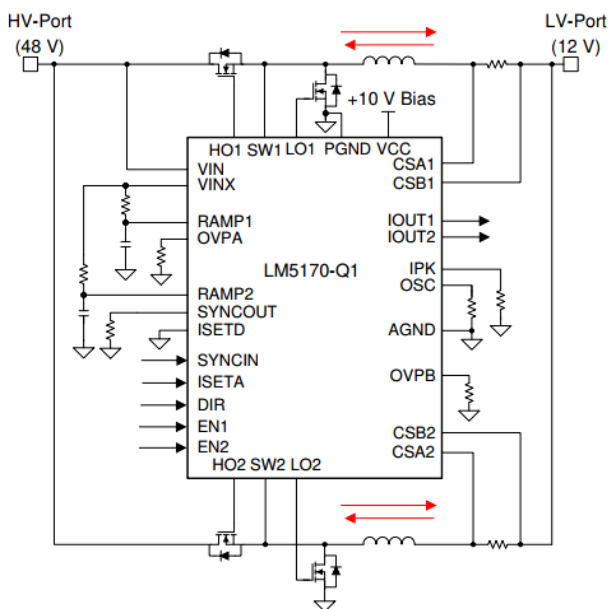


Рис. 4. Упрощенная схема подключения контроллера LM5170-Q1

Одним из назначений использования данного контроллера является применение его в автотранспортных системах с аккумуляторными батареями двух уровней напряжения с двунаправленной передачей энергии. В таблице приведены основные параметры контроллера [3].

Встроенные возможности: настраиваемое ограничение тока, настраиваемый уровень пониженного и повышенного напряжения батарей, отключение нагрузки, обнаружение выхода из строя ключа,

защита от перегрева, управление несколькими фазами (добавление, отключение) [3].

Технические характеристики контроллера LM5170-Q1

Входное напряжение	6–85 В
Выходное напряжение	3–60 В
Максимальный выходной ток	50 А
Частота преобразования	50–500 кГц
Точность двунаправленного регулирования тока	1%
Точность регулирования тока на канал	1%

Таким образом, встроенные функции контроллера позволяют решить проблему деления токов по фазам. Контроллер в реальном времени отслеживает среднее значение тока между портом высокого уровня и портом низкого уровня с точностью до 1%.

Применение данного контроллера открывает возможность масштабирования по мощности для различных проектов, так как в нем предусмотрена возможность объединения таких двухфазных преобразователей с синхронизацией двух и более контроллеров LM5170-Q1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кобзев А.В., Коновалов Б.И., Семенов В.Д. Энергетическая электроника: учеб. пособие. – Томск: Том. межвуз. центр дистанционного образования, 2010. – 164 с.
2. Многофазные преобразователи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.elcomdesign.ru/netcat_files/File/50\(3\).pdf](http://www.elcomdesign.ru/netcat_files/File/50(3).pdf) (дата обращения: 8.03.2021).
3. LM5170-Q1 Multiphase Bidirectional Current Controller [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm5170-q1.pdf?ts=1615224372142&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F (дата обращения: 8.03.2021).

ПОДСЕКЦИЯ 2.5

ОПТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАНОФОТОНИКА И ОПТОЭЛЕКТРОНИКА

*Председатель – Шарангович С.Н., проф., зав. каф. СВЧМКР, к.ф.-м.н.;
зам. председателя – Перин А.С., доцент каф. СВЧМКР, к.т.н.*

УДК 535.5

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСИ В ДИФфуЗИОННОЙ СТРУКТУРЕ $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$

Р.И. Анисимов, А.С. Темерева, А.Е. Шараева, студенты;

А.А. Колмаков, аспирант; К.П. Мельник, ассистент;

К.М. Мамбетова, м.н.с. каф. ЭП

Научный руководитель С.М. Шандаров, д.ф.-м.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. ЭП, stanislavshandarov@gmail.com

*Проект ГПО ЭП-0711 «Исследование спектральных характеристик
динамики развития отражательных фоторефрактивных решеток
в кристаллах силленитов в условиях внешней некогерентной
подсветки и влияния температуры»*

Описана методика и представлены результаты экспериментальных исследований распределения примеси в пластине X-среза $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$, созданной диффузионным легированием из металлической пленки.

Ключевые слова: ниобат лития, диффузионное легирование, показатель поглощения, функция Гаусса, фотовольтаический пинцет.

В настоящее время доказана возможность использования кристаллов ниобата лития, легированных ионами меди или железа, для реализации фотовольтаических пинцетов [1, 2]. При этом структуры $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ могут быть созданы в пластинах ниобата лития высокотемпературной диффузией меди из металлических пленок [3]. В работе [2] показано, что распределение ионов Cu^+ по глубине диффузионного слоя в пластине X-среза толщиной 1 мм является неоднородным и характеризуется гауссовой функцией. Можно сделать предположение, что параметры этого распределения будут зависеть от условий диффузии, что позволит создавать микроструктуры $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$ с заданными фотовольтаическими свойствами путем варьирования этих условий.

В данной статье приведены результаты исследований распределения примеси по глубине в микроструктуре $\text{LiNbO}_3\text{:Cu}$, сформированной диффузией меди, в пластину X-среза ниобата лития.

Описание метода и эксперимент. В исследовании использовался диффузионно-легированный образец $\text{LiNbO}_3\text{:Cu}$ X-среза. Его размеры составляли $1,5 \times 10,5 \times 12,5$ мм³ по осям x , y , z соответственно. Легирование медью проводилось из металлической пленки толщиной 600 нм, нанесенной на грань $x = 0$ пластины из конгруэнтного ниобата лития методом магнетронного распыления. Диффузия проводилась в течение 20 ч при температуре $T = 1000$ °С. В полученном образце $\text{LiNbO}_3\text{:Cu}$ через полированные грани, перпендикулярные оси z , можно было визуально наблюдать изменение окраски с расстоянием x от поверхности, подвергавшейся диффузионной обработке, от темно- до светло-коричневой.

Для изучения распределения ионов меди в кристалле по зависимости показателя поглощения $k(x)$ от глубины x была разработана экспериментальная установка, состоящая из гелий-неонового лазера, коллиматора, цилиндрической линзы, столика с микрометрическим винтом, изображающей линзы, щелевой диафрагмы, фотодиода и цифрового микроамперметра. Луч с гауссовым распределением интенсивности и длиной волны 633 нм, сфокусированный цилиндрической линзой, попадал на полированную грань ХУ образца. Кристалл, закрепленный на столике с микрометрическим винтом, перемещался перпендикулярно падающему пучку вдоль оси x . С помощью объектива «Триплет 2.8/78», который выполнял роль изображающей линзы, происходило масштабирование изображения фокальной полоски на диафрагме с шириной щели около 1 мм таким образом, чтобы оно не сдвигалось при смещении образца в процессе измерений. Регистрация тока фотодиода ФД-24К $I_t(x)$, пропорционального интенсивности прошедшего через кристалл лазерного излучения, позволила измерить её зависимость от взаимного смещения зондирующего пучка вдоль координаты x .

Для расчета зависимости связанного с диффундированной примесью показателя поглощения от глубины x использовалась формула

$$k(x) = -\frac{1}{d} \ln \frac{I_t(x)}{I_{t\max}}, \quad (1)$$

где $I_{t\max}$ – максимальное значение регистрируемого фототока для области структуры $\text{LiNbO}_3\text{:Cu}$, где оптическое поглощение являлось минимальным, и d – толщина кристалла вдоль оси z .

Результаты эксперимента и обсуждение. На рис. 1 символами показаны зависимости $k(x)$, полученные в результате двух экспериментов для образца $\text{LiNbO}_3\text{:Cu}$. Сплошная кривая на данном рисунке является аппроксимацией экспериментальных данных кривой Гаусса с максимумом показателя поглощения $k_0 = 0,89 \text{ см}^{-1}$ и полушириной $\Delta x = 675 \text{ мкм}$.

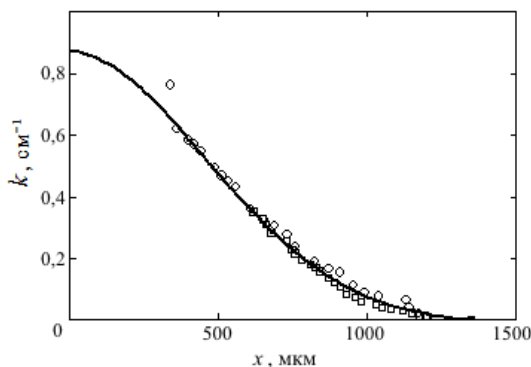


Рис. 1. Зависимость показателя поглощения на длине волны 633 нм от глубины x в образце $\text{LiNbO}_3\text{:Cu}$. Круги и квадраты – экспериментальные данные, сплошная линия – аппроксимация функцией Гаусса

Выводы. Таким образом, распределение поглощающей примеси в микроструктуре $\text{LiNbO}_3\text{:Cu}$, полученное в результате проведенных экспериментов, удовлетворительно аппроксимируется функцией Гаусса с полушириной $\Delta x = 675 \text{ мкм}$.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Госзадания на 2020–2022 годы (задание FEWM-2020-0038/3).

ЛИТЕРАТУРА

1. Esseling Zaltron A., Argiolas N., Nava G., Imbrock J., Cristiani I., Sada C., Denz C. Highly reduced iron-doped lithium niobate for optoelectronic tweezers // Appl. Phys. B-Lasers O. – 2013. – Vol. 113. – P. 1–7.
2. Мамбетова К.М., Шандаров С.М., Татьянников А.И., Смирнов С.В. Агрегирование диэлектрических наночастиц на X-срезе кристалла $\text{LiNbO}_3\text{:Cu}$ электрическими полями фоторефрактивных голограмм // Изв. высш. учеб. заведений. – 2019. – Т. 62, № 4. – С. 89–93.
3. Мамбетова К.М., Смаль Н.Н., Шандаров С.М. и др. Динамика формирования пропускающих голограмм в кристаллах ниобата лития, легированных медью методом высокотемпературной диффузии // Изв. вузов. Радиофизика. – 2015. – Т. 57, № 8–9. – С. 675–682.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОТОРЕФРАКТИВНОГО ЭФФЕКТА В АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ХРОМОМ

А.А. Чурилин, студент каф. ЭП

*Научный руководитель В.И. Быков, доцент каф. ЭП, к.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, tusur@internet.ru*

Разработана схема экспериментальной установки на базе инфракрасного лазера для наблюдения фоторефрактивного эффекта в кристалле арсенида галлия, легированного хромом.

Ключевые слова: арсенид галлия, адаптивный интерферометр, фоторефрактивный эффект, инфракрасное излучение.

Почти все методы наблюдения и регистрации радиоактивных излучений и частиц основаны на их способности производить ионизацию и возбуждение атомов среды. Например, счетчик Гейгера или полупроводниковый счётчик [1]. Недостаток таких методов состоит в относительно высоком пороге дозы излучения, которая может быть зарегистрирована приборами.

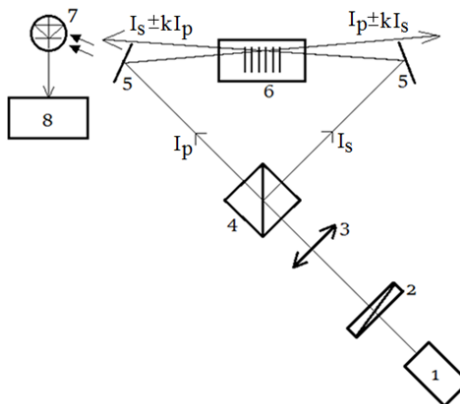
Оптический метод на основе адаптивной интерферометрии позволяет увеличить чувствительность к низким дозам радиоактивного излучения [2]. Изменение показателя преломления при воздействии на фоторефрактивный кристалл рентгеновским излучением обусловлено изменением диэлектрической проницаемости среды, которое возникает за счёт изменения объёмной плотности зарядов. Для жёсткого рентгена в видимом диапазоне можно использовать ниобат лития [2]. Но для мягкого рентгена он не подходит по чувствительности, так как изменения показателя преломления в таком случае незначительны. В качестве среды для возникновения фоторефрактивного эффекта подходит арсенид галлия, легированный хромом (GaAs:Cr). Время жизни носителей заряда, а следовательно, и фоторефрактивный эффект прямо пропорционально зависят от степени компенсации (концентрации) арсенида галлия хромом [3]. Стоит отметить, что этот кристалл не прозрачен для видимого диапазона, но прозрачен для инфракрасного.

Целью данной работы является разработка адаптивного интерферометра на базе инфракрасного лазера для наблюдения фоторефрактивного эффекта в кристалле арсенида галлия, легированного хромом.

Экспериментальная установка и методика эксперимента. Для наблюдения фоторефрактивного эффекта использовалась установка со встречной схемой взаимодействия двух световых волн (рис. 1) [2].

Рис. 1. Принципиальная схема адаптивного интерферометра:

- 1 – ИК-лазер ($\lambda = 900 \text{ нм}$);
- 2 – поляризатор;
- 3 – собирающая линза;
- 4 – делительный кубик;
- 5 – отражающие зеркала;
- 6 – кристалл (GaAs:Cr);
- 7 – фотоприёмник;
- 8 – миллиамперметр



Световой пучок из инфракрасного лазера 1 проходит в поляризатор 2 для задания горизонтальной поляризации, затем для изменения сферического волнового фронта на плоский на собирающую линзу 3. Делительный кубик 4 пространственно разлагает входящую волну на две – сигнальную и опорную, которые, отражаясь от зеркал 5, встречаются в образце 6. Внутри него формируется интерференционная картина, которая за счёт фоторефрактивного эффекта преобразуется в голограмму. Сигнальный пучок, многократно отражённый от сформированной голограммы, регистрируется фотоприёмником 7. Он подключён к миллиамперметру 8, который показывает текущее значение фототока.

Сигнальная волна имеет значительно меньшую интенсивность, чем опорная, следовательно, линейные коэффициенты суммарных интенсивностей этих волн на выходе из образца одинаковы и малы. Таким образом, изменение опорного луча на фоне сигнального можно зафиксировать фотоприёмником, а изменение сигнального на фоне опорного нет. Поэтому в описанной ниже методике эксперимента перекрывается именно опорная волна.

Эксперимент заключается в проведении измерений двух фототоков и вычислении разницы снятых значений. Первое значение регистрируется после записи голограммы в образце сигнальным и опорным пучками, второе – при её считывании путём ручного перекрытия опорной волны. Чем больше полученная разница, тем лучше наблюдается фоторефрактивный эффект.

Заключение. Разработана экспериментальная установка для наблюдения фоторефрактивного эффекта оптическим методом. В дальнейшем, поскольку время жизни неравновесных носителей заряда

порядка микросекунды, необходимо её модернизировать и провести наблюдение исследуемого эффекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. – 11-е изд., стер. – М.: Изд. центр «Академия», 2006. – 560 с.
2. Berben D., Andreas B., Buse K. A new photorefractive imaging X-ray sensor // Optical Properties. – 2002. – Vol. 4459. – P. 141–147.
3. Хлудков С.С., Толбанов О.П., Вилисова М.Д., Прудаев И.А. Полупроводниковые приборы на основе арсенида галлия с глубокими примесными центрами / под ред. О.П. Толбанова. – Томск: Изд. дом Том. гос. ун-та, 2016. – 258 с.

ПОДСЕКЦИЯ 2.6

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

*Председатель секции – Заболоцкий А.М., проф. каф. ТУ, д.т.н.;
зам. председателя – Куксенко С.П., доцент каф. ТУ, д.т.н.*

УДК 629.78.05:621.391.823

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОЙ СЕТИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ: РЕЗУЛЬТАТЫ И СОДЕРЖАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАБОТ

А.А. Андронов, студент

*Научный руководитель Т.Р. Газизов, зав. каф. ТУ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, artem.andronov.98bk.ru*

Рассматривается разработка сети высоковольтного электропитания перспективных космических аппаратов. Предлагается перечень результатов и содержания перспективных работ для её структурно-параметрического синтеза. Отмечается необходимость подготовки кадров.

Ключевые слова: космический аппарат, сеть высоковольтного электропитания, силовая шина электропитания, надёжность, электромагнитная совместимость, электростатический разряд, экранирование.

Повышение безопасности, надёжности и отказоустойчивости при ограничениях на массу и габариты актуально при проектировании современных космических аппаратов (КА). При этом для больших токов потребления в КА целесообразно использовать силовые шины электропитания (СШЭП), которые позволяют повысить эффективность и надёжность системы высоковольтного электропитания и КА в целом. Помимо того, в процессе эксплуатации КА на элементах его поверхности накапливаются заряды, которые концентрируются в локальных местах с возможным последующим электростатическим разрядом (ЭСР), создающим кондуктивные и излучаемые электромагнитные помехи работе КА. ЭСР необходимо предотвращать на этапе проектирования, используя моделирование его распространения по сети высоковольтного электропитания, принимая меры по уменьшению его влияния при эксплуатации КА. Наконец, современные тен-

денции повышения чувствительности приемных устройств, быстрого действия цифровых схем и рабочих частот аналоговых схем, а также увеличения токовой нагрузки потребителей предъявляют всё более жёсткие требования к электромагнитной совместимости (ЭМС) КА в целом. Поэтому необходима разработка новых помехозащитных устройств, защищающих восприимчивые узлы и блоки от кондуктивных и излучаемых электромагнитных помех в широком диапазоне частот.

В этих направлениях непрерывно ведутся научные исследования [1–4]. Однако они далеки от своего завершения. Между тем удержание Российской Федерацией лидерских позиций в космической отрасли возможно за счёт проектирования и прототипирования, используя современные аппаратно-программные комплексы (АПК) для моделирования и проверки решений экспериментом, в особенности жизненно важных для сети высоковольтного электропитания КА. Таким образом, актуально решение проблемы структурно-параметрического синтеза оптимальной сети высоковольтного электропитания перспективных КА. Это позволит проектировать более надежные КА с повышенным сроком активного существования, причём с меньшими затратами.

Цель данной работы – представить результаты и содержание перспективных исследований, которые актуально выполнить в ближайшие годы.

Результаты и содержание перспективных исследований

1. Математические модели, позволяющие исследовать возможность различного расположения полюсов СШЭП относительно опорного проводника (экрана) и корпусной земли КА и их оптимального размещения по критерию уменьшения погонной индуктивности и массы, а также увеличения надежности и помехозащищенности: разработка математической модели для оценки влияния расположения полюсов СШЭП относительно опорного проводника (экрана) и корпусной земли КА на погонные параметры СШЭП; разработка математической модели для оценки влияния количества проводников, образующих единые полюсы СШЭП, и их расположение относительно друг друга, опорного проводника (экрана) и корпусной земли космического аппарата на погонные параметры СШЭП; разработка целевых функций для оптимизации по критериям уменьшения погонной индуктивности и массы, а также увеличения надежности и помехозащищенности СШЭП; математическое моделирование для выявления оптимального расположения проводников полюсов СШЭП и их количества по отдельным и совместным критериям: уменьшение погонной индуктивности; уменьшение погонной массы; увеличение надежности; увеличение помехозащищенности.

2. Технология проектирования, позволяющая разрабатывать и создавать оптимальную сеть высоковольтного электропитания (ОСВЭ), отличающуюся уменьшенной массой, повышенной помехозащищенностью и надежностью за счёт применения гибких фольгированных материалов и гибридных помехозащитных устройств: проработка вариантов реализации ОСВЭ с применением гибких фольгированных материалов и апробация разработанных математических моделей для их применения; оценка возможности реализации гибридных помехозащитных устройств для ОСВЭ; оценка эффективности использования гибких фольгированных материалов при разработке помехозащитных устройств; разработка методики проектирования и технологии изготовления ОСВЭ с применением гибких фольгированных материалов.

3. Математические модели и программа для локализации потенциально уязвимых мест в сети высоковольтного электропитания; разработка математической модели для вычисления напряженности поля вдоль проводников сети электропитания; тестирование разработанной модели на примере сети электропитания на основе плоской шины; разработка моделей сети электропитания различной топологии; проверка на превышение допустимых уровней тока и напряжения в узлах сети и напряженности поля вдоль её проводников при кондуктивных воздействиях на сеть (узлы сети), типовых преднамеренных воздействий и ЭСР; экспериментальное подтверждение обнаружения и локализации потенциально уязвимых мест в ОСВЭ при воздействии ЭСР на её узлы.

4. Имитационная модель нагрузки сети высоковольтного электропитания и методика её применения для различных модулей, входящих в состав КА: разработка имитационных моделей обобщенной и типовых нагрузок сети; программная реализация, тестирование и разработка методики применения разработанных моделей.

5. Методика моделирования распространения полезных и помеховых сигналов по сети высоковольтного электропитания с использованием разработанных имитационных моделей: разработка методики моделирования распространения полезных и помеховых сигналов в ОСВЭ с использованием разработанных имитационных моделей; имитационное моделирование по разработанной методике.

6. Макет сети высоковольтного электропитания, отличающийся уменьшенной массой, повышенной помехозащищенностью и надежностью, в том числе за счёт использования гибридного устройства фильтрации, защищающего модуль КА от электромагнитных помех в широком диапазоне частот и амплитуд: разработка эскизной конструкторской документации на макет ОСВЭ; создание элементов сети (силовой шины электропитания, отводов, гибридного устройства

фильтрации); создание макета ОСВЭ; проведение испытаний макета на соответствие его эксплуатационным электрическим характеристикам и требованиям по ЭМС.

7. Опытный образец АПК для моделирования и испытания сети высоковольтного электропитания на ЭМС: разработка конструкторской и программной документации на опытный образец АПК. Создание опытного образца АПК; проведение испытаний на соответствие созданного образца АПК заявленным требованиям.

Заключение. Таким образом, представлены результаты и содержание актуальных исследований для создания ОСВЭ перспективных КА. Целесообразно проработать более детальный план работ. Кроме того, актуальна подготовка кадрового состава для выполнения этих работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р., Калимулин И.Ф. Новые решения для обеспечения электромагнитной совместимости бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2016. – 288 с.

2. Калимулин И.Ф., Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р. Методики и модели для учета паразитных параметров печатных узлов при анализе электромагнитной совместимости бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2015. – 160 с.

3. Салов В.К., Заболоцкий А.М., Орлов П.Е., Куксенко С.П., Суровцев Р.С. Совершенствование моделирования и обеспечения электромагнитной совместимости бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2014. – 131 с.

4. Орлов П.Е., Газизов Т.Р. Новые подходы к совершенствованию электрических соединений бортовой аппаратуры космических аппаратов. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2013. – 184 с.

УДК 621.365.39

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ С РЕЗИСТИВНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ ДЛЯ ПОДОГРЕВА МИКРОСХЕМ ИНДУСТРИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

М.В. Храмцов, аспирант каф. ТУ

*Научный руководитель А.М. Заболоцкий, проф. каф. ТУ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, khramtsovmaxim@yandex.ru*

Разработана печатная плата (ПП) с возможностью подогрева микросхем с помощью резистивного элемента, свернутого в меандр и помещенного во внутренний слой платы. Проведены экспериментальные исследования по измерению времени нагрева датчика температуры в условиях отрицательных температур от -55 до -35 °С.

Ключевые слова: резистивный элемент, печатная плата, меандр, подогрев, отрицательная температура.

К радиоэлектронной аппаратуре (РЭА) нередко предъявляются жесткие требования по климатическому исполнению, в частности, по рабочему диапазону температур от -60°C и выше [1]. Однако микросхемы промышленного назначения имеют рабочий температурный диапазон от -40 до $+85^{\circ}\text{C}$. Поэтому требуется поиск технических решений для обеспечения работоспособности РЭА при температурах от -40°C и ниже. Как правило, для этого используется подогрев ПП.

Для подогрева ПП часто используются дискретные нагревательные элементы или керамические нагревательные платы (рис. 1). Однако эти способы имеют недостатки. Так как большое количество тепла рассеивается в окружающее пространство, то обеспечивается лишь локальный нагрев в области установки подогревающих элементов. Кроме того, такие технические решения приводят к увеличению габаритов ПП, что часто недопустимо.

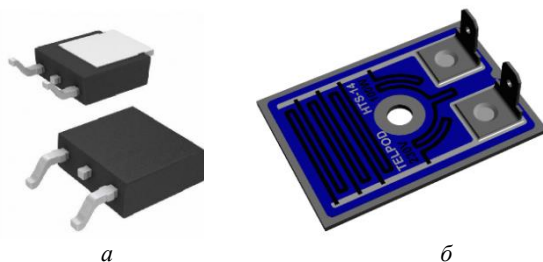


Рис. 1. Дискретный нагревательный элемент (а); керамическая нагревательная плата (б)

Более эффективный способ нагрева элементов ПП основан на пропускании электрического тока через проводник, свернутый в мандр, расположенный на внутреннем слое и распределенный по всей площади ПП [2, 3]. При этом используются внутренние ресурсы ПП и не требуются дополнительные элементы. Однако при таком подходе не учитывается наличие сквозных переходных отверстий и скорость нагрева микросхем, что критично на практике.

Цель работы – разработать ПП с резистивным элементом, расположенным на внутреннем слое для быстрого подогрева микросхем до рабочей температуры. Большинство производителей изготавливают ПП только из меди и FR-4. Поэтому для экспериментального исследования в качестве демонстрационного макета разработана ПП с медным резистивным элементом, расположенным на втором слое шести-слойной ПП, для того чтобы максимально эффективно нагревать элементы. Структура слоев ПП и топология слоя с резистивным элементом приведены на рис. 2.

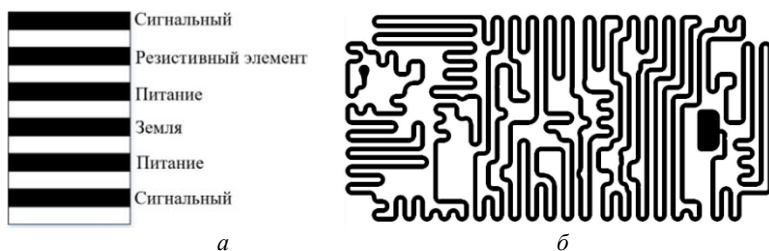


Рис. 2. Структура слоев ПП (*а*) и топология слоя с резистивным элементом (*б*)

Габаритный размер ПП равен 100×50 мм, длина резистивного элемента $l = 1750$ мм, ширина и толщина дорожек $w = 1$ мм и $t = 0,035$ мм соответственно. Резистивный элемент огибает сквозные переходные отверстия ПП, тем самым имеет сложную геометрическую форму. Он проектировался по принципу максимального заполнения площади ПП под микросхемами или в их близости. Сопротивление резистивного элемента рассчитано как $R = \rho l/S$, где ρ – удельное сопротивление, а S – площадь его поперечного сечения. В результате получено $R = 0,875$ Ом. Выделяемая проводником мощность при напряжении 5 В составляет 28,57 Вт. В ходе экспериментальных исследований данная ПП помещалась в морозильную камеру и предварительно охлаждалась до температуры -55 °С. После этого на резистивный элемент подавался электрический ток, а данные с датчика температуры выводились на компьютер. Экспериментально выявлено, что датчик температуры DS1621S+, расположенный на ПП, прогревался с -55 до -35 °С за 17 с.

Регулировка выделяемой мощности резистивного элемента обеспечивается путем изменения его структуры, тем самым изменяются его сопротивление и потребляемый ток. В качестве диэлектрического материала из-за своей дешевизны и широкой распространенности использовался материал FR-4, который имеет теплопроводность $0,25$ Вт/(м·К). Так как рассматриваемые материалы обладают разными коэффициентами теплового расширения, то в будущем планируется исследование механической прочности ПП и переходных отверстий в зависимости от многократного и циклического подогрева и последующего охлаждения.

Предполагается, что такой резистивный элемент может влиять на пути протекания обратных токов для высокоскоростных сигналов и вносить неоднородности в линию передачи, тем самым нарушать целостность сигналов. Поэтому целесообразно дальнейшее более детальное исследование влияния резистивного элемента на характеристики ПП.

Таким образом, исследована ПП, позволяющая эффективно нагревать микросхемы, что обеспечивает работоспособность РЭА в жестких климатических условиях. Кроме того, показано, что такой способ нагрева является быстрым, дешевым и простым в изготовлении.

Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования (проект FEWM-2020-0041).

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 15150–69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. – 1971. – 83 с.

2. Пат. 166 556 РФ МПК Н 05 К 3/46. Многослойная печатная плата с возможностью подогрева элементов радиоэлектронной аппаратуры в условиях воздействия экстремальных / Прыщак Алексей Валерьевич (РФ). – 2015149399/07; заявл. 17.11.2015; опубл. 10.12.2016.

3. Сокольский А.М. Методы и средства борьбы с электрохимической миграцией в устройствах авионики: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.14. – М., 2017. – 124 с.

УДК 04.514

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ СИСТЕМЫ TALGAT

И.А. Онищенко, студент каф. КСУП;

А.А. Квасников, аспирант каф. ТУ

Научный руководитель С.П. Куксенко, доцент каф. ТУ, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, onishchenko1903@yandex.ru

Проект ГПО ТУ-1502 «Вычислительная ЭМС»

Выполнено усовершенствование графического интерфейса системы TALGAT в части работы со шрифтами файлов-сценариев и редактором принципиальных схем. Внедрён динамический перевод системы на русский и английский языки. Добавлена возможность переключения на тёмную тему.

Ключевые слова: система TALGAT, Qt.

Система TALGAT предназначена для компьютерного моделирования широкого класса задач электромагнитной совместимости (ЭМС) [1]. При развитии системы происходит реализация её новых функциональных возможностей и совершенствование интерфейса пользователя. Для этого используется функционал стандартной библиотеки языка C++, а также программной платформы Qt [2].

Цель данной работы – усовершенствовать интерфейс пользователя системы TALGAT.

Редактор принципиальных электрических схем системы TALGAT – это специальное окно, в котором пользователь создаёт требуемую схему из типовых элементов, расположенных на панели редактора (линии передачи, резистор, источник тока и пр.). Сетка, отображаемая в окне принципиальной схемы редактора, предназначена для удобного расположения новых элементов. Однако для отображения результатов часто требуется скрывать сетку. Поэтому на панель инструментов был добавлен элемент, по нажатию на который сетка скрывается или отображается (рис. 1). Данная функциональность реализована с помощью изменения цвета сетки на прозрачный при её скрытии.

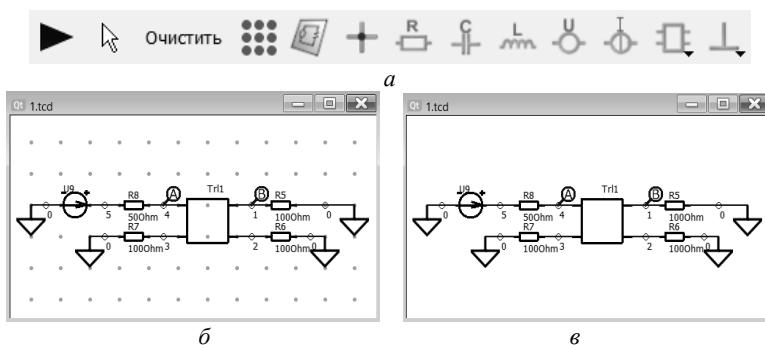


Рис. 1. Панель редактора принципиальных схем (а),
окно принципиальной схемы с сеткой (б) и без сетки (в)

Для более гибкой настройки вычислений в системе TALGAT используются файлы-сценарии, содержащие специальные команды. Для удобства пользователя система имеет возможность полного изменения шрифта в этих файлах благодаря классам QFont и QFontDialog. Из панели меню можно вызвать виджет со всеми возможными настройками. Для реализации более «привычного» для пользователя изменения размера шрифта в работе расширен метод wheelEvent() класса QFile, отвечающий за реакцию текстовых файлов на манипуляции с мышью. Так, после доработки сочетание нажатия клавиши «Ctrl» и движения колесом мыши приводит к увеличению или уменьшению шрифта (рис. 2).

Увеличение числа пользователей системы TALGAT приводит к необходимости внедрения мультиязычности. Поэтому добавлена возможность выбора языка системы: русский или английский. Платформа Qt предоставляет специализированное приложение Qt Linguist и класс QTranslator, позволяющие создавать файлы переводов и интегрировать их в программу. Для создания файла переводов была про-

ведена унификация всех строк программного кода, которые отображаются в графическом интерфейсе системы TALGAT, на английском языке. Каждая строка была помещена в специальный метод `tr()`. Далее выполнены перевод всех необходимых строк на русский язык и компиляция полученного файла. Для динамического переключения между языками в панель меню был добавлен пункт «Язык» (рис. 3).

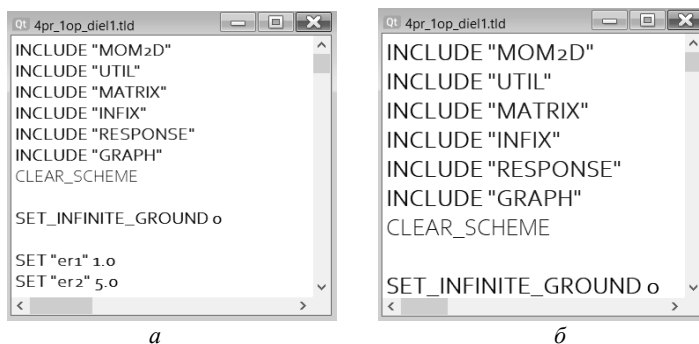


Рис. 2. Текст файла-сценария до (а) и после (б) манипуляции колесом мыши

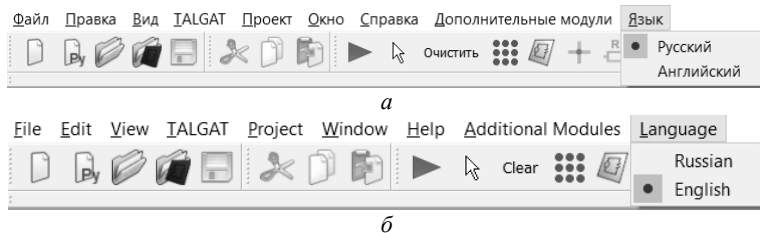


Рис. 3. Панель меню на русском (а) и английском (б) языках

Многие современные приложения предлагают пользователю возможность переключения на тёмную тему, которая полностью меняет цветовую схему приложения. Для интеграции тёмной темы в систему TALGAT был подключен файл стилей, в котором определяются правила верстки тех или иных графических элементов, а также их цвета. Для включения тёмной темы в панель меню «Вид» добавлен пункт «Тёмная тема». Также были доработаны методы, определяющие правила подсветки синтаксиса в файлах-сценариях. Цвета ключевых слов при включении тёмной темы заменяются более «мягкими» оттенками.

Таким образом, в ходе работы выполнено усовершенствование интерфейса пользователя системы TALGAT в части работы со шрифтами, скрытия сетки в редакторе принципиальных схем, динамиче-

ской смены языка, включения тёмной темы. Это позволило улучшить процесс взаимодействия пользователя с системой.

Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования (проект FEWM-2020-0041).

ЛИТЕРАТУРА

1. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT / С.П. Куксенко, А.М. Заболоцкий, А.О. Мелкозеров, Т.Р. Газизов // Доклады ТУСУР. – 2015. – № 2 (36). – С. 45–50.

2. Qt | Cross-platform software development for embedded & desktop [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.qt.io> (дата обращения: 25.02.2021).

УДК 601.2

ОБЗОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ КЛЕТОК

В.Н. Невежин, аспирант каф. ТУ

*Научный руководитель М.Е. Комнатнов, доцент каф. ТУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, vitalayzerman@mail.ru*

Приведен краткий обзор электрических моделей биологических клеток. Представлены различные подходы к моделированию отдельных частей клеточной структуры, а также самой клетки. Приведены примеры, в которых негативные последствия для живого организма моделируются при помощи электрических схем.

Ключевые слова: биологическая клетка, принципиальная схема, модель эквивалентной электрической цепи, клеточная мембрана.

Воздействие электромагнитного излучения (ЭМИ) на биологическую клетку приводит к изменению электрического потенциала на её мембране и перемещению заряженных частиц снаружи и внутри клетки. Влияние электростатических сил приводит к расширению эпителиального ядра и деформации мембраны. За нарушением целостности клеточной стенки следует изменение электрического поля вокруг поры клетки, что влияет на электрические потенциалы клетки, оказывает влияние на внутреннее содержимое клетки и её внешнюю оболочку, через которую происходит контакт с внешней средой посредством пор [1–3].

Особое место в этом занимает содержание ионов K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- в клетке, которые участвуют в образовании мембранных потенциалов и в регулировании обменных процессов клетки с окружающей средой. Например, изучение функционирования натриевых каналов оказывается полезным для фармакологии и токсикологии. Так, тет-

родотоксин и сакситоксин, которые считаются самыми сильными из небелковых ядов, приводят к гибели человека и животных, блокируя трансмембранный натриевый ток на плазматических мембранах нервных волокон. Это приводит к невозможности проводить клетками нервные импульсы, что может привести к гибели организма [3, 4]. Поэтому моделирование электрических процессов помогает в лечении и диагностике при различных отклонениях в метаболических реакциях. Моделируя некоторые процессы в живом организме, можно предположить пути решения, связанные с генетическими и аутоиммунными дефектами в живом организме.

Цель работы – выполнить обзор электрических моделей биологических клеток.

Существующие электрические модели биологических клеток включают саму клетку, клеточную мембрану и ионные каналы. Мембрана клетки выполняет структурную и защитную функции клетки. Она состоит из различных органических соединений, основная масса которых состоит из белков и липидов, через которые возможна диффузия химических веществ и ионов [3].

Электрический ток в клетке переносится ионами K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , при этом он изменяется в зависимости от напряжения на мембране [3, 4]. Это позволяет предположить, что электрические свойства клеточной мембраны можно представить как элементы электрической цепи. Наличие и поддержание трансмембранных ионных градиентов обеспечивает сохранение накопленной энергии, что, в свою очередь, схоже с работой электролита. Поэтому можно представить равновесный потенциал каждого иона как его электродвижущую силу (ЭДС). Итоговая схема представляет собой параллельное соединение нескольких источников ЭДС с переменной проводимостью и емкостью (рис. 1) [4]. Это позволяет выполнить моделирование открытых и закрытых ионных каналов, что подтверждается экспериментальными изменениями в значениях напряжения на мембране клетки.

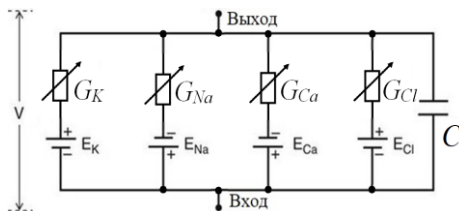


Рис. 1. Электрическая схема клеточной мембраны [4]

Электрическая модель биологической клетки в виде двух схем представлена в работе [5]. В первой происходит реактивный перенос

заряда между клеточной мембраной и внеклеточным раствором, что приводит к поляризации на мембране. Во второй реактивный перенос заряда происходит между внеклеточным раствором и электродами, поляризация которых происходит на поверхности электродов.

Параметры этой системы описываются сопротивлением и емкостью, содержащей конечный элемент постоянной фазы. Сопротивление системы включает внутриклеточное сопротивление, объемное сопротивление раствора, сопротивление реактивного переноса зарядов, поляризационное сопротивление мембраны, реактивное сопротивление переноса заряда на поверхности электродов, поляризационное сопротивление на электроде. Емкость системы включает объемную внеклеточную емкость, диффузионную емкость клеточной мембраны, диффузионную двухслойную емкость электродов. Конечные элементы постоянной фазы в системе – параметр поляризации на клеточной мембране и поляризационный параметр поверхности электрода.

Известна модель биологической ткани как соединение отдельных клеток [6]. Так, клетка представляет собой эквивалентную схему, состоящую из пяти параллельных RC-цепей. Измерение импеданса происходит за счет регистрации ионного тока снаружи клетки. Электрические токи низкой частоты протекают по внешней стороне, а токи высокой частоты – по внутренней стороне электрической модели клетки. Результаты измерений импеданса человеческого тела подтверждают пригодность этой модели. При этом расчетные и измеренные значения отличаются менее чем на 10%.

Таким образом, в работе рассмотрены основные электрические модели клеточных структур, позволяющие оценить основные изменения, происходящие в структуре. Однако они имеют недостаток, заключающийся в невозможности оценки изменений всех параметров клеточной структуры. Поэтому в дальнейшем целесообразна доработка рассмотренных моделей биологических клеток для возможности оценки воздействия ЭМИ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 2020-0041.

ЛИТЕРАТУРА

1. BioInitiative 2012. Table of contents [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://biointitiative.org/table-of-contents>, свободный (дата обращения: 15.12.2020).
2. Kim J.H. Possible effects of radiofrequency electromagnetic field exposure on central nerve system / J.H. Kim, J.K. Lee, H.G. Kim, K.B. Kim, H.R. Kim // *Biomolecules & therapeutics*. – 2019. – Vol. 27(3). – P. 265–275.
3. Самойлов В.О. Медицинская биофизика: учеб. для вузов. – 3-е изд., испр. и доп. – СПб.: СпецЛит, 2013. – 591 с.

4. Medical physiology, 3rd edition. Electrical model of a cell membrane [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doctorlib.info/physiology/medical/34.html>, свободный (дата обращения: 16.01.2021).

5. Amin M. A complete electrical equivalent circuit model for biological cell / M. Amin, P. Dey, H. Badkoobei // Proceedings of the 7th WSEAS International conference on applied computer and applied computational science. – 2008. – P. 343–348.

6. New equivalent-electrical circuit model and a practical measurement method for human body impedance / K. Chinen, I. Kinjio, A. Zamami, K. Irei, K. Nagayama // Proceedings of the 4th International conference on biomedical engineering and biotechnology. – Shanghai, China, 18–21 August 2015. – Vol. 26, No. s1. – P. 779–786.

УДК 601.2

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ КЛЕТКИ НА ЕМКОСТЬ ПЛОСКОГО КОНДЕНСАТОРА

В.Н. Невежин, И.И. Николаев, аспиранты каф. ТУ

Научный руководитель М.Е. Комнатнов, доцент каф. ТУ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, vitalayzerman@mail.ru

Оценено изменение емкости электростатической системы в виде плоского конденсатора, в которую помещена модель биологической клетки.

Ключевые слова: модели биологической клетки, математическая модель, электрическая емкость.

Одной из важнейших характеристик живой клетки является ее электрическая емкость, непосредственно сигнализирующая о жизне-способности клетки. Так, в работах [1–4] показано, что при воздействии электромагнитного излучения (ЭМИ) на клетку происходит локальное изменение заряженных частиц, что приводит к изменению потенциала на клеточной мембране. При достижении трансмембранного напряжения определенной величины происходит электрический пробой мембраны. Данный пробой приводит к образованию поры, что оказывает влияние на барьерную и транспортную функцию клеточной стенки, тем самым регулируя обменные процессы в клетке.

В работе [5] предложена математическая модель для расчета электрических составляющих биологической клетки, помещенной между двумя металлическими пластинами плоского конденсатора. Использование этой модели позволяет точно предсказать изменение биологической клетки при различных значениях напряжения клеточ-

ной мембраны. Модель создана на основе эукариотической клетки. Из таких клеток состоят ткани и органы живых организмов. Известно, что в зависимости от выполняемой функции ткани клетки имеют разный химический состав, что напрямую влияет на различие в их электропроводности. Кроме того, живые клетки обладают высокой диэлектрической проницаемостью по сравнению с мертвыми. Поэтому клеточная мембрана ограничивает содержимое клетки от внешней среды [4]. Следовательно, исследование внутренних процессов в различных клеточных системах под воздействием ЭМИ позволяет моделировать биофизические процессы, сигнализирующие об их жизнеспособности.

Цель работы – исследовать влияние геометрических и электрофизических параметров биологической клетки на емкость плоского конденсатора.

При делении клетка увеличивается, сохраняя при этом свои электрофизические свойства, что может быть полезным для определения ее геометрических размеров. Разработанная модель клетки была реализована в системе TALGAT (рис. 1, а). Модель позволяет вычислять значение емкости электрической системы в зависимости от размера и электрофизических параметров клеток. Модель состоит из конденсатора 1, клеточной стенки 2 ($\epsilon_{r1}=10,5$), цитоплазмы 3 ($\epsilon_{r2}=50$), оболочки ядра 4 ($\epsilon_{r3}=5,5$) и клеточного ядра 5 ($\epsilon_{r4}=5,5$) (см. рис. 1, б). Геометрические размеры (мм) – $r_1=1$, $r_2=0,9$, $r_3=0,5$, $r_4=0,4$, $a=4$, $h=4$.

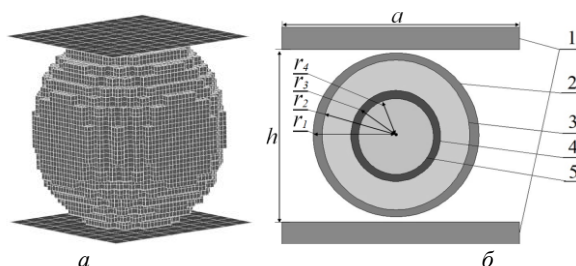


Рис. 1. Модель клетки, помещенной между пластинами плоского конденсатора в системе TALGAT (а), и ее структура (б)

Первоначальное значение емкости системы без клетки $C=115$ фФ. Оценено влияние изменения радиуса клетки на емкость системы (рис. 2). Из рис. 2 видно, что при увеличении общего радиуса r_1 клетки и неизменном расстоянии между двумя металлическими пластинами емкость системы увеличивается. Так, при уменьшении радиуса клетки в 10 раз значение емкости системы снижается в 2,3 раза. Далее исследовано изменение емкости конденсатора при различных элек-

трофических параметрах клетки. Из рис. 3 видно, что при одновременном уменьшении ϵ_r цитоплазмы (от 60 до 5,5) и ϵ_r клеточной стенки (от 10,5 до 5,5) происходит уменьшение емкости электрической системы. Таким образом, при значении $\epsilon_r=5,5$ всех компонентов клетки происходит ее гибель.

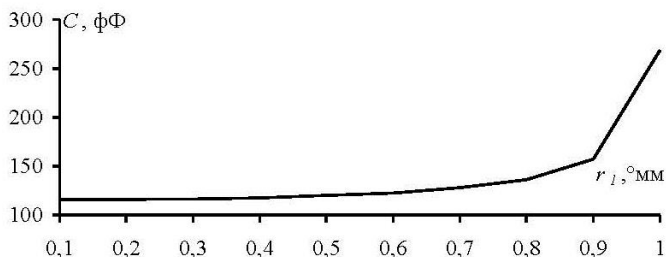


Рис. 2. Зависимость емкости электрической системы от r_1

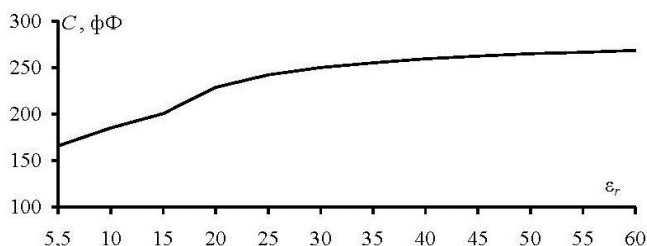


Рис. 3. Зависимость емкости электрической системы от ϵ_r клетки

Таким образом, в работе исследовано изменение емкости конденсатора в зависимости от геометрических и электрических параметров клетки. Показано, что при увеличении радиуса клетки и относительной диэлектрической проницаемости ее цитоплазмы и клеточного ядра возрастает емкость плоского конденсатора, в объеме которого помещена клетка.

В следующих работах планируется добавить другие компоненты биологических клеток.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 2020-0041.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kasiviswanathan U. A portable standalone wireless electric cell-substrate impedance sensing (ECIS) system for assessing dynamic behavior of mammalian cells/ U. Kasiviswanathan, S. Poddar, C. Kumar // Journal of analytical science and technology. – 2020. – Vol. 1, № 25 – 12 p.
2. Medical Physiology, 3rd Edition. Electrical model of a cell membrane [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doctorlib.info/physiology/medical/34.html>, свободный (дата обращения: 16.01.2021).

3. Casciola M. Electrical conductance of lipid pores / M. Casciola, M. Tarek // Handbook of electroporation. Springer international publishing AG. – 2017. – № 1. – P. 219–233.

4. Самойлов В.О. Медицинская биофизика: учеб. для вузов. – 3-е изд., испр. и доп. – СПб.: СпецЛит, 2013. – 591 с.

5. Shagoshtasbi H. A Nonlinear size-dependent equivalent circuit model for single-cell electroporation on microfluidic chips / H. Shagoshtasbi, P. Deng, YK. Lee // Journal of laboratory automation. – 2015. – Vol. 20. – P. 481–490.

УДК 621.3

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ С БОКОВЫМИ ЗАЗЕМЛЕННЫМИ ПРОВОДНИКАМИ

И.Е. Сагиева, м.н.с. НИЛ «БЭМС РЭС»;

Б.Е. Нурхан, магистрант каф. ТУ

г. Томск, ТУСУР, nurkhan.bakhtiyar@mail.ru

Выполнено моделирование влияния температуры на погонную задержку и волновое сопротивление микрополосковой линии с боковыми заземленными проводниками. Установлено, что максимальное изменение характеристик линии при раздельном влиянии изменения температуры от минус 150 до 150 °С на каждый из геометрических параметров сечения линии не превышает 1%, а при одновременном влиянии на все параметры – 6,60%, при этом максимальное влияние (до 7,32%) оказывает относительная диэлектрическая проницаемость подложки.

Ключевые слова: радиоэлектронная аппаратура, микрополосковая линия, погонная задержка, волновое сопротивление, температурное влияние.

Критичная радиоэлектронная аппаратура (РЭА) должна обеспечивать работоспособность и надежность в самых различных климатических условиях, так как повышение или понижение температуры окружающей среды от номинальной может вызвать ухудшение работоспособности (изменяются физико-химические и механические свойства материалов, из которых изготовлены узлы и блоки РЭА) [1, 2]. В этой связи при создании РЭА необходимо учитывать условия эксплуатации и параметры окружающей среды, а также соблюдать требования стандартов, определяющие особенности конструкции при сборке и производстве [3]. Поэтому актуально исследование влияния температуры (T) на работоспособность массово используемых компонентов РЭА, а именно на характеристики линий передачи печатных плат, такие как погонная задержка (τ) и волновое сопротивление (Z).

Частоиспользуемой является микрополосковая линия (МПЛ) [4]. Исследовано влияние T на характеристики простой МПЛ [5]. Исследованы характеристики τ и Z модифицированной МПЛ с боковыми заземленными проводниками [6]. Однако влияние T на эти характеристики не исследовано. Цель данной работы – выполнить такое исследование.

В системе TALGAT [7] построена геометрическая модель поперечного сечения линии (рис. 1). Параметры линии: толщина подложки $h=1$ мм; относительная диэлектрическая проницаемость подложки $\epsilon_r=4,5$; ширина сигнального проводника $w=0,3$ мм; ширина боковых заземленных проводников $w1=1$ мм.

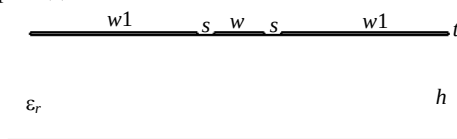


Рис. 1. Поперечное сечение МПЛ с боковыми заземленными проводниками

На основе математической модели и формул для расчетов τ и Z , представленных в работе [5], вычислены их значения при изменении T от -150 до $+150$ °С с шагом 25 °С. Рассмотрены случаи влияния T на все параметры по отдельности и одновременно при изменении разности проводников ($s = 0,1; 0,5; 0,9$ мм) как параметра, определяющего близость боковых проводников к полоске.

Анализ полученных зависимостей для τ (рис. 2–4, *a*) показал, что влияние T на отдельные параметры t , w , $w1$, h , s таково, что изменения τ пренебрежимо малы. Наибольшее влияние на τ оказывает изменение ϵ_r : 5,78% при $s=0,1$ мм; 5,89% при $s=0,5$ мм; 6,06% при $s=0,9$ мм. Очевидно, что это обусловлено большим значением температурного коэффициента ϵ_r и её существенным влиянием на погонную емкость структуры, как показано в [5].

В температурных зависимостях Z (рис. 2–4, *b*) с уменьшением s влияние T на отдельные параметры становится более выраженным. Так, например, при $s=0,1$ мм h (0,07%), ϵ_r (6,71%), а при $s=0,9$ мм, h (0,47%), ϵ_r (7,32%). Это объяснимо увеличением ёмкости на землю с приближением боковых проводников, из-за чего влияние плоскости земли уменьшается, так что изменения h и ϵ_r меньше влияют на характеристики.

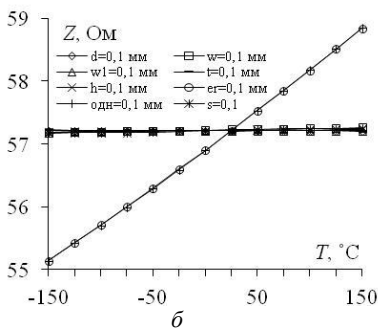
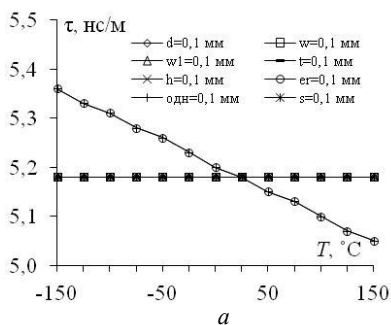


Рис. 2. Зависимости τ (а) и Z (б) от T при изменении ϵ (○), w (□), w_1 (Δ), h (×), t (—), s (✱) и при их одновременном изменении (+) для $s=0,1$ мм

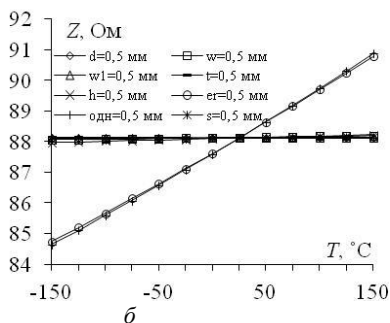
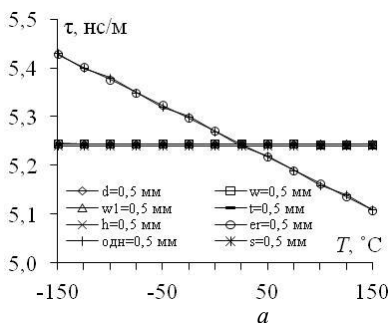


Рис. 4. Зависимости τ (а) и Z (б) от T при изменении ϵ (○), w (□), w_1 (Δ), h (×), t (—), s (✱) и при их одновременном изменении (+) для $s=0,5$ мм

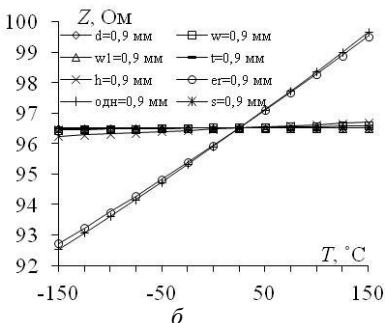
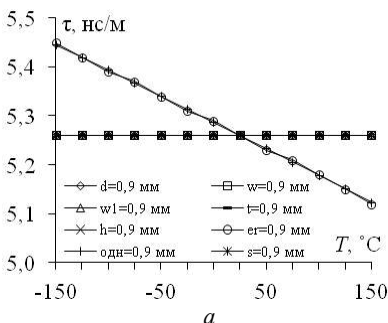


Рис. 3. Зависимости τ (а) и Z (б) от T при изменении ϵ (○), w (□), w_1 (Δ), h (×), t (—), s (✱) и при их одновременном изменении (+) для $s=0,9$ мм

Кроме того, из рис. 2–4 видно, что при одновременном изменении всех параметров основное влияние на характеристики τ и Z ока-

зывает ε_r . Так, например, при одновременном изменении всех параметров отклонение τ для $s=0,1$ мм составляет 5,78%, а $Z - 6,60\%$.

Таким образом, влияние T на w , t , h , s и $w1$ в довольно широком диапазоне температур незначительно изменяет τ и Z исследуемой линии, тогда как на ε_r – гораздо больше.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2020-0041.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние температуры и влажности на электронное оборудование. – URL: <https://tomsk.terraelectronica.ru/news/5526> (дата обращения: 20.02.2021).

2. Воздействие внешних условий на работоспособность РЭА. – URL: https://sinref.ru/000_uchebniki/04600radio/008_regulirovshik_radioaparaturi_gorodilin/054.htm (дата обращения: 20.02.2021).

3. ГОСТ Р 56252–2014 Платы печатные. Контроль влияния химических факторов и воздействия окружающей среды. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200114719> (дата обращения: 20.02.2021).

4. Maloratsky L.G. Using modified microstrip lines to improve circuit performance // High Frequency Electronics. – 2011. – Vol. 10, No. 5. – P. 38–52.

5. Sagiyeva I.Y. The influence of temperature on microstrip transmission line characteristics / I.Y. Sagiyeva, A.V. Nosov, R.S. Surovtsev // 21st International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices EDM. – Erlagol, Altai, June 29 – July 3, 2020. – P. 191–194.

6. Сагиева И.Е. Моделирование характеристик микрополосковой линии с боковыми заземленными проводниками у границы воздух–подложка // Сборник избр. статей научной сессии ТУСУР по матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2018». – Томск, Россия, 16–18 мая, 2018. – Ч. 2. – С. 278–280.

7. Куксенко С.П. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT / С.П. Куксенко, А.М. Заболоцкий, А.О. Мелкозеров, Т.Р. Газизов // Доклады ТУСУР. – 2015. – № 2(36). – С. 45–50.

УДК 004.31

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПЛАТЫ УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЭКРАНИРОВАННОЙ ТЕМ-КАМЕРОЙ *Т.И. Третьяков, П.А. Попов, студенты; А.А. Собко, ассистент* *Научный руководитель М.Е. Комнатнов, доцент каф. ТУ, к.т.н.* *г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, henos19039@gmail.com*

Выполнено усовершенствование структурной схемы платы управления климатической экранированной ТЕМ-камерой. Рассмотрены особенности её функциональных узлов.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, климатическая экранированная камера, микроконтроллер, элемент Пельтье, интерфейс, функциональный блок, плата управления.

Облик климатической экранированной ТЕМ-камеры (КЭК), предназначенной для испытания электронной компонентной базы на ЭМС с одновременным контролируемым воздействием климатических условий окружающей среды, представлен в работе [1]. Плата терморегулятора, входящая в состав КЭК, имеет возможность программного изменения режима работы с нагрева на охлаждение, а количество управляемых термоэлектрических элементов Пельтье (ЭП) увеличено до 60 шт. [2]. При этом она не лишена недостатков, таких как наличие ведущего микроконтроллера (МК) и группы ведомых МК, отвечающих за температурный контроль, наличие МК, управляющего шаговыми двигателями двери камеры.

Такое количество МК приводит к нерациональному использованию пространства в КЭК и усложнению процесса программирования и отладки камеры в целом. Кроме того, узел управления элементами Пельтье (реверсивный преобразователь) является отдельным функциональным блоком (ФБ), что также приводит к нерациональному использованию пространства в КЭК и появлению большого количества проводных соединений, которые имеют электрические связи.

Цель данной работы – разработать плату управления (ПУ) КЭК, способную осуществлять управление всеми ФБ КЭК.

Для достижения поставленной цели выделен необходимый минимум функциональных узлов для проектирования ПУ КЭК. Для основы ПУ КЭК выбран 32-битный МК STM32F746NGH6, имеющий 25 интерфейсов связи, 168 портов ввода/вывода и 28 выводов ШИМ-сигнала. МК позволяет осуществлять температурный контроль и управлять шаговыми двигателями. Это упрощает процесс программирования и отладки МК, а также освобождает часть пространства на печатной плате.

На каждой стороне ТЕМ-камеры располагается группа из 15 датчиков температуры (ДТ). Связь ПУ КЭК с каждой группой ДТ осуществляется с помощью интерфейса I2C, а связь с пультом управления – при помощи интерфейса Ethernet. Взаимодействие с другими ФБ, такими как блок коммутации электропитания, блок управления шаговыми двигателями и блок управления вентиляторами морозильной системы, осуществляется с помощью интерфейса UART.

Каждое устройство в составе ПУ КЭК обеспечивается необходимым электропитанием, распределение которого происходит в узле питания ПУ КЭК. ФБ регулирования температуры представляет собой 24 реверсивных преобразователя (РП) для управления ЭП. Реверсивные преобразователи размещаются на плате управления КЭК.

С учётом особенностей построения КЭК подобран необходимый минимум функциональных узлов ПУ КЭК и спроектирована её струк-

турная схема (рис. 1). Разработанная схема содержит узел распределения электропитания, МК, три интерфейса (I2C, UART, Ethernet) для обмена данными с другими ФБ, программатор и 24 реверсивных преобразователя для управления ЭП.

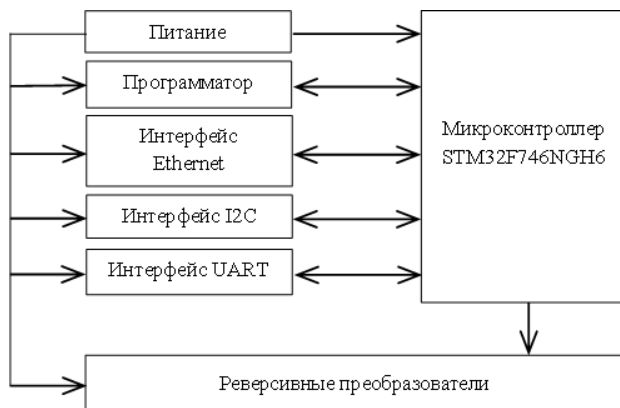


Рис. 1. Структурная схема ПУ КЭК

Разработанная структурная схема ПУ КЭК в отличие от ранней версии, представленной в работе [2], позволяет объединить несколько ФБ в один, что минимизирует возможность появления нежелательных электромагнитных связей и позволяет разместить все компоненты ПУ КЭК на одной печатной плате. Такое решение дает возможность экономно использовать пространство в КЭК за счет компактного размещения компонентов схемы и уменьшает количество проводных соединений между ними.

Таким образом, выполнено усовершенствование структурной схемы платы управления климатической экранированной ТЕМ-камерой для оптимального использования пространства внутри камеры. Кроме того, это позволяет уменьшить уровень электромагнитных наводок в цепях управления и электропитания КЭК.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-79-10162) в ТУСУР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комнатнов М.Е. Камера для совместных климатических и электромагнитных испытаний электронных компонентов / М.Е. Комнатнов, Т.Р. Газизов // Техника радиосвязи. – 2014. – Т. 23, № 3. – С. 84–91.
2. Собко А.А. Усовершенствование платы управления терморегулятором климатической экранированной камеры / А.А. Собко, М.Е. Комнатнов // Электронные средства и системы управления: матер. докладов междунар. науч.-практ. конф., Томск. – 2016. – № 1-1. – С. 225–226.

ПЛАТА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОМЕХОЭМИССИИ И ВОСПРИИМЧИВОСТИ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА K1986BE92Q

П.А. Попов, Т.И. Третьяков, студенты; А.А. Собко, аспирант

Научный руководитель М.Е. Комнатнов, доцент каф. ТУ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, popov.pav.and@gmail.com

Разработан макет измерительной платы, предназначенной для измерения помехоэмиссии и восприимчивости микроконтроллера K1986BE92Q. Измерительная плата включает в себя испытуемый микроконтроллер и периферийные устройства, необходимые для его функционирования.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, микроконтроллер, измерительная плата.

В соответствии с требованиями по электромагнитной совместимости (ЭМС) устанавливаются определенные нормы помехоэмиссии и восприимчивости к электромагнитным помехам. Такие измерения производятся согласно нормативным документам, в которых представлены методика проведения измерений и необходимое оборудование. Так, согласно стандартам МЭК 62132-2 и МЭК 61967-2, для испытаний интегральной схемы (ИС) на ЭМС необходима специальная измерительная плата [1, 2].

Цель работы – разработать измерительную плату для измерения электромагнитной помехоэмиссии и восприимчивости микроконтроллера K1986BE92Q.

На рис. 1 представлена структурная схема разработанной измерительной платы для исследования микроконтроллера (МК) на ЭМС. Напряжение питания 5 В поступает через разъем mini USB. Для работы измерительной платы необходимо напряжение 3,3 В, которое поступает с выхода стабилизатора напряжения LM1117DT-3.3. Фильтр Ф1 предотвращает возникновение пульсаций напряжения на входе стабилизатора, а фильтр Ф2 поддерживает стабильность напряжения на выходе стабилизатора. Напряжение питания 1,8 В для цифровой части платы формирует встроенный регулируемый стабилизатор. Для работы МК достаточно одного источника внешнего электропитания от 2,2 до 3,6 В. Схемы контроля питания устраняют возможность сбойной работы МК при уровне напряжения питания, выходящего за допустимые пределы. Отладочные интерфейсы позволяют производить отладку МК посредством интерфейсов SW/JTAG. Устройства ввода и вывода предназначены для подключения внешних устройств к измерительной плате. Тактовый генератор обеспечивает точность и

стабильность опорной частоты, а также синхронизацию с внешними устройствами.

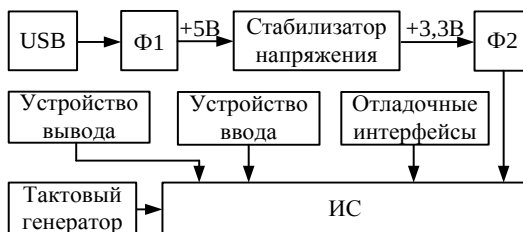


Рис. 1. Структурная схема измерительной платы

На рис. 2 показан макет разработанной измерительной печатной платы (ПП). На верхней стороне ПП, где расположен МК, выполнен сплошной полигон «земли» для обеспечения экранирования. На нижней стороне ПП располагаются периферийные устройства, обеспечивающие работу МК. Измерительная плата состоит из четырех слоев. Каждый слой изготовлен из фольгированного стеклотекстолита, а между слоями находится диэлектрик. ПП имеет квадратную форму размером 100×100 мм².

Под выводами МК расположены переходные отверстия, предназначенные для соединения с контактными площадками на нижней стороне ПП, а внутренние слои ПП полностью покрыты полигоном «земли». Кроме того, на краях ПП расположены переходные отверстия и выполнена сплошная металлизация для надежного электрического контакта с ТЕМ-камерой, в которой производится измерение.

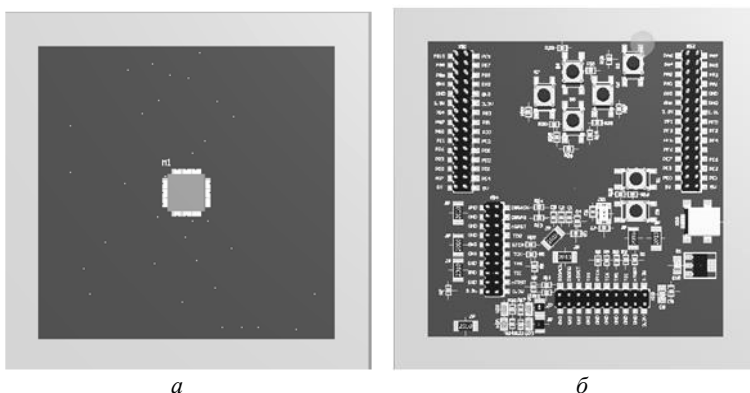


Рис. 2. Макет измерительной ПП: вид сверху (а) и снизу (б)

Таким образом, разработана измерительная плата может быть использована для измерений электромагнитной помехоэмиссии и восприимчивости МК K1986BE92Q.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-79-10162) в ТУСУРе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Integrated circuits. Measurement of electromagnetic immunity. – Part 2: Measurement of radiated immunity, TEM cell and wideband TEM cell method, IEC 62132-2. – First ed. – 2010. – 28 p.

2. Integrated circuits. Measurement of electromagnetic emissions. – Part 2: Measurement of radiated emissions, TEM cell and wideband TEM cell method, IEC 61967-2. – First ed. – 2005. – 52 p.

УДК 621.389

ПЛАТА КОММУТАЦИИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЭКРАНИРОВАННОЙ КАМЕРЫ *П.А. Попов, Т.И. Третьяков, студенты; А.А. Собко, аспирант* *Научный руководитель М.Е. Комнатнов, доцент каф. ТУ, к.т.н.* *г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, popov.pav.and@gmail.com*

Представлены результаты разработки платы коммутации электропитания климатической экранированной камеры. Плата состоит из фильтра электромагнитных помех, узла сильноточной коммутации, трех блоков питания и системы охлаждения.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, коммутация электропитания, климатическая экранированная камера.

Для исследования электронной компонентной базы на соответствие требований по электромагнитной совместимости (ЭМС) при одновременном климатическом и электромагнитном воздействии разрабатывается климатическая экранированная камера (КЭК), содержащая несколько функциональных блоков [1, 2]. Для стабильной работы функциональных блоков КЭК необходимо устройство коммутации электропитания, позволяющее управлять исполнительными механизмами посредством переключения контактов реле по сигналам от микроконтроллера. Устройство коммутации электропитания позволяет обеспечить надежность и удобство в эксплуатации за счет возможности независимого отключения каждого из блоков коммутации в любой момент времени после включения.

Цель работы – разработать плату коммутации электропитания климатической экранированной камеры.

Разработанная структурная схема коммутации электропитания (рис. 1) состоит из фильтра электромагнитных помех, узла силовой коммутации, трех блоков питания и системы охлаждения данных блоков.

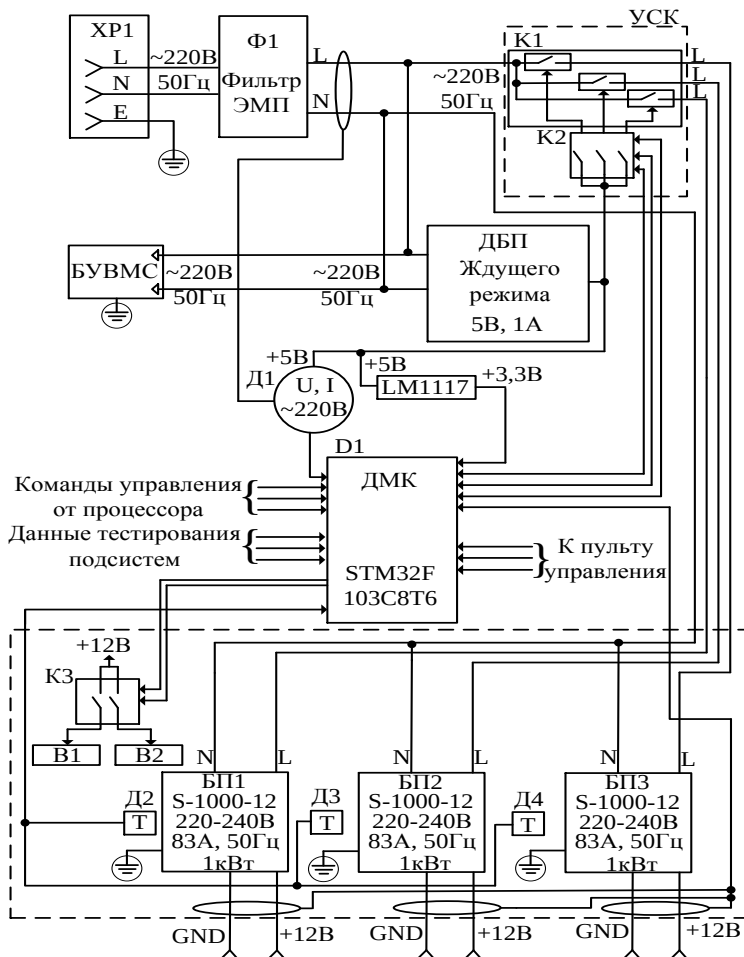


Рис. 1. Структурная схема коммутации электропитания КЭЖ

При подаче электропитания на камеру (вилка XP1) сетевое напряжение 220 В промышленной частоты 50 Гц поступает на фильтр электромагнитных помех Ф1. С выхода фильтра сетевое напряжение поступает на дежурный блок питания (ДБП), блок управления венти-

ляторами морозильной системы (БУВМС) и устройство сильноточной коммутации (УСК). Устройство коммутации реализовано на трех твердотельных реле K1 (G7DA-48(Z)D3), подключающих фазу сети 220 В к блокам питания БП1–БП3 (S-1000-12), при наличии напряжения 5 В на контактах реле. Это напряжение коммутируется тремя ключами K2 на полевых транзисторах (2N7002), управляемых сигналами 3,3 В с дежурного микроконтроллера (ДМК).

Для питания ДМК, выполняющего программу подготовки к запуску КЭК, предусмотрен понижающий линейный стабилизатор напряжения (LM1117), обеспечивающий выходное напряжение 3,3 В. На основе полученных данных от датчиков тока и напряжения Д1 дежурный микроконтроллер производит включение или отключение БП1–БП3, собирает данные температуры от каждого из них посредством температурных датчиков Д2–Д4, а также управляет вентиляторами В1, В2 с помощью сигналов широтно-импульсной модуляции через ключи К3, что обеспечивает необходимый уровень вентиляции отсека с блоками питания.

Разработанная печатная плата (ПП) состоит из двух слоев. Ее топология представлена на рис. 2. ПП разработана с максимальным исключением пересечения печатных проводников под углом 90° , находящихся на разных слоях, для минимизации паразитных электромагнитных связей между трассами.

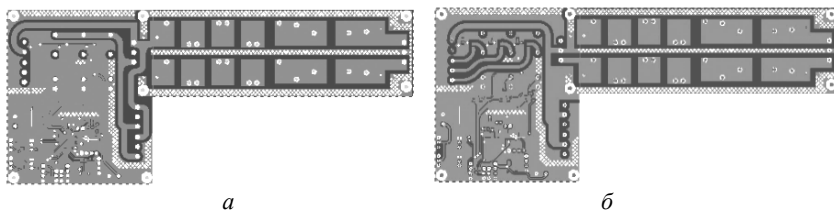


Рис. 2. Топология верхнего (а) и нижнего (б) слоев ПП

Общий вид разработанного устройства коммутации в сборе показан на рис. 3. Его габаритные размеры – 209×90×20 мм.

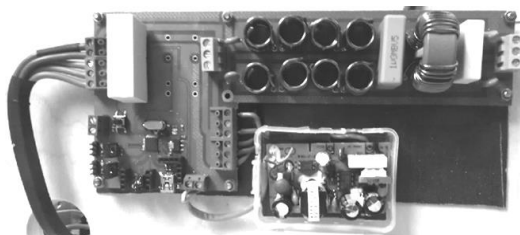


Рис. 3. Макет блока коммутации электропитания

Таким образом, разработаны структурная схема и печатная плата для коммутации электропитания КЭК. В дальнейшем целесообразно выполнить широкомасштабное тестирование разработанной платы при разных режимах работы КЭС.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-79-10162) в ТУСУРе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комнатнов М.Е. Обоснование целесообразности проведения совместного испытания на электромагнитные и температурные воздействия бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата // Матер. конф. «Молодежь. Техника. Космос»: сб. тр. VI ОМНТК. – СПб.: БГТУ, 2014. – С. 46–48.
2. Комнатнов М.Е. Камера для совместных климатических и электромагнитных испытаний электронных компонентов / М.Е. Комнатнов, Т.Р. Газизов // Техника радиосвязи. – 2014. – Т. 23, № 3. – С. 84–91.

ПОДСЕКЦИЯ 2.7

СВЕТОДИОДЫ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

*Председатель секции – Туев В.И., зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.;
зам. председателя – Солдаткин В.С., доцент. каф. РЭТЭМ, к.т.н.*

УДК 621.3.032.364

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Д.В. Кожокару, студент каф. РЭТЭМ

Научный руководитель В.С. Солдаткин, доцент каф. РЭТЭМ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, soldatkinvs@main.tusur.ru

*Проект ГПО РЭТЭМ-1501 «Исследование и разработка
полупроводниковых источников света»*

Излагаются результаты исследований влияния типов и концентрации люминофоров в люминофорной композиции на индекс цветопередачи светодиодов белого цвета свечения. В результате проведенных исследований установлено, что индекс цветопередачи, равный 80, обеспечивается смешиванием люминофоров типа 1 – 7% с типом 2 – 3%.

Ключевые слова: люминофорная композиция, люминофор, компаунд, светодиод белого цвета свечения, индекс цветопередачи.

В настоящее время светодиодные источники света уверенно вытесняют привычные лампы в различных областях применения в производстве, в быту, в офисе и т.д. Светодиодные источники света в сравнении с традиционными лампами имеют ряд преимуществ, таких как высокая световая отдача (свыше 135 лм/Вт, у ламп накаливания 12,5 лм/Вт), длительный срок службы (более 15000 ч, у ламп накаливания 3000 ч) и экологическая безопасность (отсутствие вредных материалов и стойкость конструкции к механическим воздействиям, лампы накаливания хрупкие и загрязняют окружающую среду осколками стекла, газоразрядные лампы, помимо осколков стекла при бое выделяют пары ртути). У светодиодных источников света, как и у компактных люминесцентных ламп, существует общий недостаток, связанный с низким индексом цветопередачи [1].

Индекс цветопередачи CRI (относительные единицы) – общее понятие, характеризующее влияние спектрального состава излучения источника на зрительное восприятие цветных объектов по сравнению

с восприятием их при освещении стандартным источником света. Формулы определения CRI по измеренным значениям спектральной характеристики источника света приведены в [2]. Идеальное значение $CRI = 100$ у солнечного света. Наиболее близкие к нему значения имеют лампы накаливания, поэтому свет от лампы накаливания воспринимается более комфортным. Именно по этой причине ряд учёных и производственных коллективов в России и за рубежом работают над созданием эффективных люминофорных композиций с высоким индексом цветопередачи.

Целью работы является выбор типов люминофоров и их концентрации в люминофорной композиции для повышения индекса цветопередачи.

В качестве связующего в люминофорной композиции используется оптически прозрачный компаунд ELASTOSIL® Wacker Chemie AG, серия RT 604, с показателем преломления 1,41. Люминофоры: тип 1 (жёлто-зелёный) – максимум спектра излучения 552 нм; тип 2 (красный) – максимум спектра излучения 628 нм; тип 3 (зелёный) – максимум спектра излучения (528–542) нм.

Для проведения исследований были изготовлены 30 заготовок СД с кристаллами, с максимальной длиной волны 460 нм производства Epistar, в корпусах 5×5 мм для поверхностного монтажа. Для проведения измерений спектральных характеристик использовался спектроколориметр «ТКА-ВД», для обеспечения электропитания макетов светодиодов со стабилизацией по значению прямого тока 30 мА использовался источник-измеритель Keithley 2410. Измерения проводились при температуре окружающей среды 25 °С. Для приготовления смесей люминофорной композиции использовались аналитические весы ЛВ 210-А первого класса точности в соответствии с ГОСТ 24104–2001, и печь для сушки люминофорной композиции Снол.

Расчётно-экспериментальным методом установлено:

- Светодиод с люминофорной композицией в составе люминофоров: тип 1 – 7% + тип 2 – 3% имеет значение индекса цветопередачи 80.
- Светодиод с люминофорной композицией в составе люминофоров: тип 1 – 7% + тип 3 – 3% имеет значение индекса цветопередачи 72.
- Светодиод с люминофорной композицией в составе люминофоров: тип 2 – 7% + тип 1 – 3% имеет значение индекса цветопередачи 66.
- Светодиод с люминофорной композицией в составе люминофоров: тип 2 – 7% + тип 3 – 3% имеет значение индекса цветопередачи 71.
- Светодиод с люминофорной композицией в составе люминофоров: тип 3 – 7% + тип 1 – 3% имеет значение индекса цветопередачи 71.
- Светодиод с люминофорной композицией в составе люминофоров: тип 3 – 7% + тип 2 – 3% имеет значение индекса цветопередачи 72.

Результаты исследований можно распространить на светодиоды, светодиодные матрицы и светодиодные излучающие элементы белого цвета свечения.

Вывод: для изготовления светодиодов белого цвета свечения с индексом цветопередачи 80 следует использовать люминофорную композицию в составе люминофоров: 7% жёлто-зелёного люминофора с максимумом спектра излучения 552 нм и 3% красного люминофора с максимумом спектра излучения 628 нм. Зелёный люминофор с максимумом спектра излучения (528–542) нм повышает значение световой отдачи светодиода и снижает индекс цветопередачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tuev V.I., Soldatkin V.S., Andreeva M.V., Ganskaya E.S., Afonin K.N., Vilisov A.A. Investigation of phosphor compositions for led filament bulb // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. – Series 1115. – 2018. – P. 052012.

2. Шуберт Ф. Светодиоды / пер. с англ.; под ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2008. – 496 с.

УДК 628.931

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ПРОЖЕКТОР ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНОЙ ВИДИМОСТИ ВСЛЕДСТВИЕ ПОВЫШЕННОГО КОЛИЧЕСТВА АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ

А.Г. Саинский, студент

*Научный руководитель В.С. Солдаткин, к.т.н., доцент каф. РЭТЭМ
г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, soldatkinvs@main.tusur.ru*

Интеллектуальный полупроводниковый прожектор для применения в условиях недостаточной видимости вследствие повышенного количества атмосферных аэрозолей предназначен для речного транспорта как основной источник освещения в условиях тумана, дождя, снегопада.

Ключевые слова: прожектор светодиодный, интеллектуальное освещение, условия недостаточной видимости, атмосферные аэрозоли, безопасность на транспорте, судовое освещение.

На сегодняшний день на рынке представлен большой ряд светодиодных прожекторов, их стоимость определяется дальностью действия, но эти данные приводятся производителями без учёта влияния на дальность действия атмосферных аэрозолей. Влиянием атмосферных аэрозолей на прохождение света на протяжении длительного

времени занимаются в ИОА СО РАН. Известно, что аэрозоли делятся на конденсационные (образуются в результате присоединения молекул вещества в паре или конденсации пара на присутствующих в нём ионах или частицах вещества с жидкой дисперсной фазой – туман, с твёрдой – дым) и диспергационные (образуются в результате измельчения твёрдых тел – пыль или в результате распада струй или плёнок жидкостей – спреи).

Атмосферные аэрозоли принято классифицировать следующим образом: облака, туманы, дымка, морось и осадки, осадки делятся на дождь и снег. В зависимости от плотности и типа аэрозолей пропускание света будет различным на разных длинах волн. Именно по этой причине для обеспечения безопасности движения на речном, автомобильном и железнодорожном транспорте необходимо провести исследования и разработать интеллектуальный полупроводниковый прожектор для применения в условиях недостаточной видимости вследствие повышенного количества атмосферных аэрозолей. Прожекторы судовые делятся по светотехнической функции на осветительные (заливающего света, поисковые) и светосигнальные, по назначению – для речных судов и для морских судов, по применяемому источнику и по способу управления – с дистанционным управлением и с ручным управлением.

В настоящее время на рынке представлен широкий ассортимент поисковых прожекторов с ксеноновыми, галогеновыми и светодиодными источниками света. Прожектор – световой прибор, перераспределяющий свет лампы (ламп) внутри малых телесных углов и обеспечивающий угловую концентрацию светового потока с коэффициентом усиления более 30 для круглосимметричных и более 15 для симметричных приборов.

Технико-экономический анализ показал, что преимущественно все прожекторы судовые поисковые имеют коррелированную цветовую температуру 3500 К. Известно, что использование прожекторных источников света белого цвета свечения в условиях тумана крайне неэффективно. Так, в автомобилях в условиях тумана применяются противотуманные фары жёлтого цвета свечения. При прохождении света через туман часть его рассеивается, а часть поглощается. Коротковолновое излучение в большей степени подвержено рассеиванию в аэрозольных частицах тумана, чем длинноволновое. Известно, что на реках в тёмное время суток, как правило, туман существует постоянно. Качество освещения водного пути напрямую влияет на безопасность передвижения судов. Поисковый прожектор используется как основной источник света при движении судна для поиска препятствий

и опасных неосвещённых объектов. Опасные места на судовом ходу в тёмное время суток обозначаются световыми сигналами. Движение маломерных судов на судовом ходу запрещено, кроме пересечения судового хода.

Маломерное судно – это судно, длина которого не должна превышать двадцать метров и общее количество людей на котором не должно превышать двенадцать. Маломерные судна, как правило, это частные катера, яхты и лодки. Проект по разработке светодиодного поискового прожектора судового направлен на конечного потребителя – владельцев маломерных судов.

Цель проекта – создание светодиодного поискового прожектора судового с функцией противотуманного освещения.

Научная новизна предлагаемых в проекте решений. Создание нового полупроводникового прожектора с интеллектуальным управлением спектром и интенсивностью излучения по результатам анализа оптических характеристик атмосферных аэрозолей для обеспечения хорошей видимости в условиях тумана, дождя, снегопада; для применения на речном, автомобильном и железнодорожном транспорте в качестве основного источника света.

Технические характеристики объекта разработки. На основе анализа рынка, где были проанализированы аналоги на рынке и их характеристики, были выявлены предположительные характеристики светодиодного макета лампы для мультимедийного прожектора (таблица).

Основные технические характеристики разрабатываемого прибора

Параметр	Значение
Напряжение источника питания, В	12
Угол рассеивания, град	3...5
Световой поток, лм	3000
Дальность действия, м	1000
Масса, кг	15

Также в ходе работы были разработаны схема электрическая принципиальная и весь пакет конструкторской документации (рис. 1, 2).

Выводы: в ходе работы был проведен анализ рынка, определены основные характеристики прожектора работы, были разработана схема электрическая принципиальная и весь пакет конструкторской документации на печатный узел.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акименко Т.А. Прохождение света сквозь аэрозольную среду // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2011. – Вып. 5, ч. 3. – С. 82–87.
2. Приказ Министерства транспорта РФ от 19 января 2018 г. № 19 «Об утверждении Правил плавания судов по внутренним водным путям» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71794832/> (дата обращения: 5.03.2021).
3. Федеральный закон от 23 апреля 2012 г. № 36-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части определения понятия маломерного судна» [Электронный ресурс]. – URL: <https://base.garant.ru/70165836/> (дата обращения: 5.03.2021).
4. Электрооборудование судов. Правила и нормы проектирования и электромонтажа [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-24040-80> (дата обращения: 5.03.2021).
5. Серебренникова И.В., Маломуж П.А., Солдаткин В.С., Туев В.И. Моделирование световых характеристик светодиода для систем освещения // Технические науки – от теории к практике. – 2013. – № 21. – С. 174–179.

УДК 53.088.3

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ ФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ОПТИЧЕСКИМИ И МЕХАНИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

И.Д. Шарифов, аспирант каф. РЭТЭМ

Научный руководитель В.И. Туев, зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, sh_ilhom.j@mail.ru

Раскрыты результаты измерения профилей физических объектов оптическими и механическими методами. На основе оптического и механического методов проведен анализ результатов с помощью однофакторного дисперсионного анализа. С использованием критерия Фишера определена гипотеза, утверждающая что средние значения генеральных совокупностей, имеет одно и то же значение, т.е. все методы показывают одинаково.

Ключевые слова: оптический метод, механический метод, интерферометрия белого света, интерферометрия фазового сдвига, однофакторный дисперсионный анализ.

Приборостроение – область науки и техники, отрасль машиностроения, занимающаяся разработкой и производством средств измерений, анализа, обработки и представления информации, автоматических и автоматизированных систем управления. Основным направлением развития приборостроения является измерительная техника, состоящая из методов и приборов измерения механических, электрических, магнитных, тепловых, оптических и других физических величин [1].

Задачей настоящего исследования является анализ результатов измерения оптическим и механическим методами.

Профилометры – это приборы для измерения неровности поверхности. Профилометры бывают контактного и оптического типа [2].

В оптической профилометрии физический контакт аппарата с изучаемой поверхностью исключается. Анализ поверхности проходит только за счет оптических эффектов. На профилометре поставляются два объектива – 10X и 50X [2].

Профилометр объединяет два высокоточных интерферометрических метода: интерферометрия белого света (WLI) – режим сканирования, который использует белый свет и движение, перпендикулярное поверхности образца, для определения точного положения образца. Интерферометрия фазового сдвига (PSI) – режим сканирования похож на режим интерферометрия белого света, однако несколько их ключевых отличий позволяют проводить более точные измерения. Также он более чувствителен к поворотам/наклонам образца, поэтому необходимо аккуратно выравнивать образец на столике [3].

Комбинированный режим сканирования (Composite WLI/PSI) используется для увеличения верхней границы диапазона значений для режима интерферометрии фазового сдвига с трех микрон до десяти [3].

В случае контактного профилометра по поверхности изучаемого образца передвигается специальная чувствительная головка, которая улавливает шероховатости и неровности поверхности [2].

Профилометры модели 130 предназначены для измерений параметров профиля и параметров шероховатости изделий, по системе средней линии в соответствии с диапазонами значений. Действие прибора основано на принципе ощупывания неровностей измеряемой поверхности щупом, алмазной иглой [4].

В качестве образца был взят макет органического светоизлучающего диода, состоящий из 99 элементарных структур, представляющих стеклянную подложку с нанесенными на нее слоем сплава оксида индия и олова, транспортным слоем, излучающим слоем и металлическим катодом. Размер элементарных структур 2×2 мм. Профиль 10 из них измерен интерференционным оптическим и механическим методами (рис. 1 и 2).

Для сравнения значений рассмотрим однофакторный дисперсионный анализ, который позволяет сравнивать средние нескольких групп по одной, двум и более признакам одновременно оценивая влияние на величину среднего каждого признака по отдельности, а также их взаимодействиями.

Результаты измерения образца двумя методами и результаты измерения среднего арифметического и дисперсии приведены в табл. 1, 2.

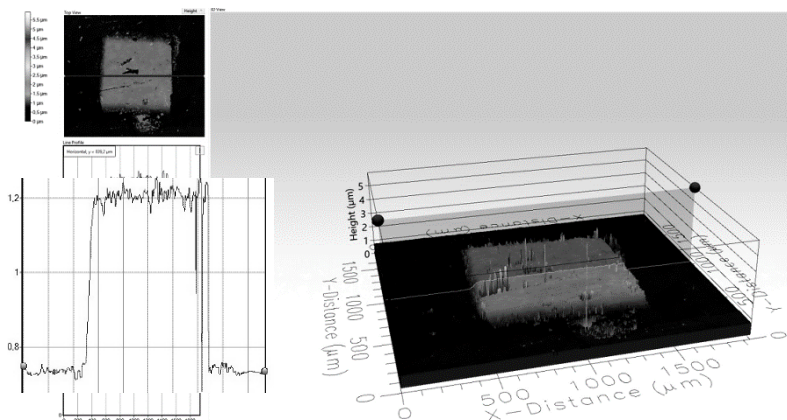


Рис. 1. Оптическое изображение одной из элементарных структур



Рис. 2. Профилграмма одной из элементарных структур механическим методом

Таблица 1

Результаты измерения образца двумя методами

№ п/п	Оптический метод, мкм			Механический метод
	WLI	PSI	Composite WLI/PSI	Модели 130, мкм
1	0,5	0,5	0,5	—
2	0,5	0,5	0,5	0,6
3	0,5	0,5	0,5	—
4	0,5	0,4	0,5	0,6
5	0,5	0,5	0,5	0,5
6	0,5	0,4	0,5	0,6
7	0,5	0,5	0,5	0,6
8	0,5	0,4	0,4	0,4
9	0,5	0,5	0,5	0,5
10	0,5	0,5	0,5	0,5

Таблица 2

Результаты измерения среднего арифметического
и дисперсия для каждой из групп

Группа	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия
1	10	5,0	0,5	0
2	10	4,7	0,47	0,0023
3	10	4,9	0,49	0,001
4	8	4,3	0,54	0,0055

Нулевая гипотеза: $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6$, где μ – суммарный эффект во всех опытах.

Альтернативная гипотеза H_1 : по меньшей мере одно математическое ожидание не равно остальным [5].

Межгрупповая сумма квадратов отклонений определяется по формуле (1):

$$SS_{\text{меж}} = \sum n_i (\bar{x}_i - \bar{\bar{x}})^2. \quad (1)$$

Внутригрупповая сумма квадратов отклонений определяется по формуле (2):

$$SS_{\text{вн}} = \sum n_i (x - \bar{x}_i)^2. \quad (2)$$

Межгрупповая дисперсия характеризует систематическую вариацию признака, которая обусловлена влиянием фактора, положенного в основание группировки:

$$MS_{\text{меж}} = \frac{SS_{\text{меж}}}{k-1}. \quad (3)$$

Внутригрупповая дисперсия является средней из групповых дисперсий и отражает случайную вариацию признака, которая происходит под влиянием всех прочих факторов, за исключением фактора, положенного в основание группировки:

$$MS_{\text{вн}} = \frac{SS_{\text{вн}}}{N-1}. \quad (4)$$

Соотношение межгрупповой и внутригрупповой дисперсии, даёт значение F критерия Фишера, которая вычисляется по формуле (5):

$$F = \frac{SS_{\text{меж}}}{SS_{\text{вн}}}. \quad (5)$$

Степень свободы числителя и знаменателя определяем формуле (6)

$$\begin{aligned} df_{\text{ч}} &= k-1, \\ df_{\text{з}} &= N-1. \end{aligned} \quad (6)$$

Существенные расхождения между группами данных приведены в табл. 3.

Таблица 3

Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS	df	MS	F	$P_{\text{зн}}$	$F_{\text{кр}}$
Между гр.	0,021	3	0,007	3,46	0,027	2,88
Внутри гр.	0,069	34	0,002	–	–	

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что однофакторный дисперсионный анализ проводится для критерия Фишера и сравнивается с F критическим, отсюда определяется уровень

значимости $P_{\text{зн}} = 0,027$, т.е. нулевая гипотеза что результаты независимы от методы, оба метода дают одинаковые результаты. Все различия обусловлены неким случайным разбросом, не связанным с каким-либо методом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Приборостроение и измерительная техника // ООО «Олбест» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minateh.ru/equipment/analytical-and-metrology/byudzhetnyj-opticheskij-profilometr-profilm3d-ot-filmetrics1/>, свободный (дата обращения: 04.01.2021).
2. Бюджетный оптический профилометр Profilm3D от Filmetrics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minateh.ru/equipment/analytical-and-metrology/byudzhetnyj-opticheskij-profilometr-profilm3d-ot-filmetrics1/>, свободный (дата обращения: 28.01.2021).
3. Filmetrics. 3D-оптический профилометр Profilm 3D // Руководство по эксплуатации Profilm [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://filmetrics-russia.ru/equipment/profilometriya/profilm3d>, свободный (дата обращения: 25.02.2021).
4. Профилометр модели 130. Паспорт // АО «Завод ПРОТОН» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vostok-7.ru/upload/iblock/4c5/4c596101893ebdef4e5f779a5a7fff42.pdf> свободный (дата обращения: 03.03.2021).
5. Мицель А.А. Прикладная математическая статистика: практ. работы. – Томск: ТУСУР, 2019. – С. 41–44.

УДК 535-92

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ Ti/Au В ВЕРТИКАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ КРИСТАЛЛОВ ИК-ДИАПАЗОНА

М.И. Воротников, аспирант каф. ФЭ

*Научный руководитель П.Е. Троян, проф. каф. ФЭ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, taxim240395@mail.ru*

Исследован коэффициент отражения инфракрасного излучения от металлических отражателей Ti/Au, применяемых в планарной конструкции кристалла. Установлено, что коэффициент отражения системы отражателей Ti/Au с толщинами 1/200 нм соответственно имеет коэффициент отражения на уровне 96%. Применение металлических отражателей в вертикальной конструкции кристалла ИК-диапазона позволяет увеличить мощность излучения на 30%.

Ключевые слова: светоизлучающий кристалл, квантовая эффективность, инфракрасное излучение, металлические отражатели, коэффициент отражения, вертикальная конструкция.

Важнейшим элементом конструкции светодиода является полупроводниковый светоизлучающий кристалл. Данный кристалл изготавливается из полупроводниковой гетероструктуры, которая выращивается различными методами [1]. Особенно важными для изготовления эффективного кристалла являются последующие технологические шаги, которые позволяют увеличить внешнюю квантовую эффективность светоизлучающих кристаллов. Одним из методов повышения внешней квантовой эффективности является применение в конструкции кристаллов отражателей, которые позволяют перенаправить излучение в сторону его вывода.

Отражающие поверхности, встраиваемые в конструкцию светоизлучающего кристалла, должны иметь: высокую отражательную способность, достаточно широкую область с высоким коэффициентом отражения, изотропные характеристики, низкое сопротивление для обеспечения протекания тока через отражатель [2].

Металлические отражатели с зеркальным отражением на границах раздела металл–воздух – это зеркала, имеющие высокие отражательные характеристики. Металлические отражатели имеют высокое значение коэффициента отражения в широком диапазоне длин волн излучения и слабо выраженную зависимость отражательной способности от угла падения излучения [3].

Для ИК-диапазона светового излучения в качестве отражателя используется Au, у которого коэффициент отражения в данном диапазоне более 95%. Однако для увеличения адгезии золота к эпитаксиальной структуре используется подслой Ti. Проведено исследование влияния толщины слоя Ti на отражательные свойства системы Ti/Au (рис. 1). Толщина слоя Au составляет 200 нм.

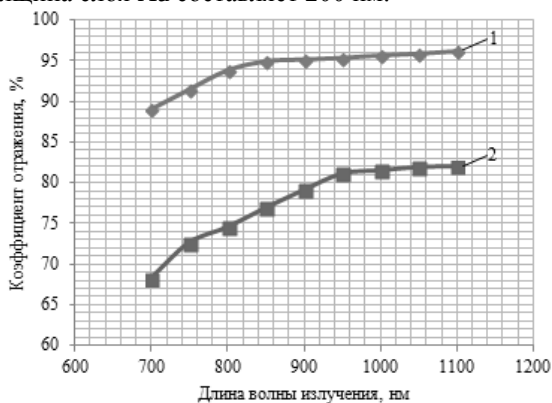


Рис. 1. Влияние толщины слоя Ti на отражательные свойства системы Ti/Au: 1 – 1 нм; 2 – 3 нм

По результатам исследования влияния толщины слоя Ti на отражательные свойства системы Ti/Au (см. рис. 1) можно сделать вывод о том, что при увеличении толщины слоя Ti отражательные свойства системы Ti/Au ухудшаются.

Изготовлены светоизлучающие кристаллы ИК-диапазона вертикальной конструкции с применением металлического отражателя Ti/Au и без. Результаты измерения мощности излучения светоизлучающих кристаллов приведены в таблице. Для измерения мощности излучения проведен монтаж кристаллов в SMD-керамический корпус типоразмером 5050. Измерение мощности излучения проводилось на установке Instrument Systems 4.

Результаты измерений мощности светоизлучающих кристаллов

Номер кристалла	Мощность излучения, мВт	
	Без отражателя	С отражателем Ti/Au
1	143,9	188,5
2	143,8	184,1
3	131,4	174,8
4	149,6	192,9
5	145,8	189,5

Как видно из таблицы, использование в вертикальной конструкции светоизлучающего кристалла металлического отражателя Ti/Au позволяет увеличить мощность излучения кристаллов в ИК-диапазоне в среднем на 30%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полищук А. Современные мощные светодиоды и их оптика // Компоненты электроники. – 2011. – № 2. – С. 20–23.
2. Вилисов А.А. Эффект внутреннего переотражения в излучающих диодах / А.А. Вилисов, Г.Н. Захаров, Ю.О. Незнамова // Девятая конф. «Арсенид галлия и полупроводниковые соединения группы III–V»: матер. конф. – Томск: Том. гос. ун-т, 2006. – С. 400–403.
3. Коршунов Н.В. Быстродействующие гетероструктуры арсенида галлия-алюминия и ИК-диоды на их основе / Н.В. Коршунов, Ю.К. Крутоголов, Ю.И. Кунакин // Девятая конф. «Арсенид галлия и полупроводниковые соединения группы III–V»: матер. конф. – Томск: Том. гос. ун-т, 2006. – С. 396–399.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1 РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Подсекция 1.1

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Председатель – Мелихов С.В., проф. каф. РТС, д.т.н.;
зам. председателя – Аникин А.С., доцент каф. РТС, к.т.н.

Д.О. Ноздреватых

ДИНАМИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ В
ШИРОКОПОЛОСНЫХ МНОГОЛУЧЕВЫХ СПУТНИКАХ11

В.Г. Паииков

RFID-METКИ В СИСТЕМАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ14

Г.Г. Жук, Т. Абдирасул уулу, А.В. Щегляков,

Д.С. Кречетов, А.В. Убайчин

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БОРТОВЫХ
МИКРОВОЛНОВЫХ РАДИОМЕТРОВ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ17

К.Д. Зайков

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ
НА АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ В РАМКАХ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА.20

Подсекция 1.2

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Председатель – Шостак А.С., проф. каф. КИПР, д.т.н.;
зам. председателя – Озёркин Д.В., декан РКФ, к.т.н., доцент

К.А. Петрухин, А.Ю. Колесников, С.А. Степанов

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ В СВЧ ИМС
НА ОСНОВЕ БИПОЛЯРНЫХ СТРУКТУР24

А.А. Кабиров

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ
ОБЪЕКТОВ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫМ МЕТОДОМ27

М.М. Кануж

ИМИТАЦИЯ GPS-СИГНАЛОВ.....30

Н.Ю. Ладыгин, Д.А. Кравченко

ОБЗОР САПР ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН
В СРЕДЕ ГИДРОМЕТЕОРОВ.....33

Б.И. Романов	
ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ АНАЛОГОВОГО И ЦИФРОВОГО МЭМС-МИКРОФОНА	36
Е.М. Сорокина, М.М. Сабыр	
ПОИСК ФОРМЫ ЭФФЕКТИВНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО РАДИООБОРУДОВАНИЯ»	39
А.О. Стакозов	
ОСОБЕННОСТИ КАЛИБРОВКИ ЦИФРОВЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК	42
В.И. Вебер	
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОСЕТИ.....	44

Подсекция 1.3

РАДИОТЕХНИКА

*Председатель – Семенов Э.В., проф. каф. РЗИ, д.т.н., доцент;
зам. председателя – Артищев С.А., доцент каф. КУДР, к.т.н.*

Н.И. Гоголев	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЛИТЕЛЯ-СУММАТОРА НА 5 КАНАЛОВ L-ДИАПАЗОНА	49
В.С. Вторых, А.А. Гордилов	
ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В КАБЕЛЬНЫХ СЕТЯХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ	52
А.О. Киринос	
ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ПРОТОКОЛА СКРК В92 НА ПЛАТФОРМЕ ОТКРЫТОГО ПРОЕКТА IBM QUANTUM EXPERIENCE	54
А.Н. Корягин	
УДВОИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ С-ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН	60
А.А. Плешков	
АКТИВНЫЙ СВЧ-ТРАНЗИСТОРНЫЙ СМЕСИТЕЛЬ С-ДИАПАЗОНА .	63
А.В. Щегляков, Д.С. Кречетов, Т. Абдирасул уулу,	
Г.Г. Жук, А.В. Убайчин	
АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМАТИКИ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХСЯ В ДИСТАНЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ, МЕДИЦИНЕ, КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ	67
С.И. Разгуляев	
ПРОБЛЕМАТИКА КОРРЕКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИБОРОВ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ.....	69

Подсекция 1.4

АУДИОВИЗУАЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ЦИФРОВОЕ ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЙ СЕРВИС

Председатель – Курячий М.И., доцент каф. ТУ, к.т.н.;

Т.Ю. Гребёнкина

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕКСТА РЕКВИЗИТОВ ПАСПОРТА РФ.....	73
--	----

А.В. Яценко, В.А. Куракин

МИГРАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ВИДЕОКОНТЕНТА В ФИЛИАЛЕ ВГТРК «ГТРК «ТОМСК»»	76
--	----

Р.Е. Макажанов

ОБРАБОТКА И ОЦЕНКА КОНТРАСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗОБРАЖЕНИЙ	78
---	----

С.В. Серебренников, В.А. Семиглазов

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ 3D-СКАНИРОВАНИЯ И 3D-ПЕЧАТИ В ОБРАЗОВАНИИ	81
--	----

А.В. Яценко

РАДИО В ТОМСКЕ И ОБЗОР ОСНОВНЫХ ФУНКЦИЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ НА РАДИОВЕЩАТЕЛЬНОМ ОБОРУДОВАНИИ	85
---	----

Подсекция 1.5

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ ШИРОКОПОЛОСНОГО БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА

Председатель – Рогожников Е.В., доцент каф. ТОР, к.т.н.

П.А. Абенова

ФОРМИРОВАНИЕ ЛУЧА В СИСТЕМАХ MASSIVE MIMO ДЛЯ СЕТЕЙ 5G NR.....	88
---	----

М.С. Челпанов

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ РАДИОСИГНАЛА В СООТВЕТСТВИИ СО СТАНДАРТОМ МОДУЛЯЦИИ LORA.....	91
---	----

О.Е. Морозова

ОБЗОР ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ПИК-ФАКТОРА В СИСТЕМАХ С ОРТОГОНАЛЬНЫМ ЧАСТОТНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ	94
--	----

Подсекция 1.6

РОБОТОТЕХНИКА

Председатель – Коцубинский В.П., доцент каф. КСУП, к.т.н.

В.А. Козлюк, Н.А. Коновалов, Д.Е. Бурмасов

РЕЗУЛЬТАТ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ПЕРЕВОДУ РОБОТИЗИРОВАННОЙ
ПЛАТФОРМЫ С ОБЫЧНЫХ КОЛЕС НА OMNI-КОЛЕСА 97

Н.А. Лысак, Д.С. Ботов, А.А. Деев

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ В РОБОТОТЕХНИКЕ..... 100

Подсекция 1.7

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

*Председатель – Шурыгин Ю.А., директор департамента управления
и стратегического развития ТУСУРа, зав. каф. КСУП, д.т.н., проф.;*
зам. председателя – Черкашин М.В., декан ФВС,
доцент каф. КСУП, к.т.н.

В.В. Анисимов

СОЗДАНИЕ C#-СОВМЕСТИМОЙ DLL ИЗ ИСХОДНОГО
КОДА FORTRAN, РЕАЛИЗУЮЩЕЙ ЧИСЛЕННЫЕ
КОНФОРМНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ, ДЛЯ РАСЧЕТА
ПОГОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СВЯЗАННЫХ ЛИНИЙ
КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ НАД ПЛОСКИМ ЭКРАНОМ 103

Я.Ю. Малькова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ
ОБЪЕКТОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ГЕНЕРАЦИИ 106

Ю.А. Новичкова, Т.Н. Файль, А.Е. Горяинов, А.А. Калентьев

ПРОБЛЕМА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИБЛИОТЕК МОДЕЛЕЙ
КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ СИНТЕЗА СВЧ-УСТРОЙСТВ 109

С.К. Старков, А.А. Кокотов

РАЗРАБОТКА СВЧ-ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯ
НА ОСНОВЕ 0,13 МКМ КНИ-ТЕХНОЛОГИИ..... 111

Д.Р. Халиуллин, А.А. Кокотов

АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАЗБОР МЕТОДА
КОРПУСИРОВАНИЯ WLCSР 116

СЕКЦИЯ 2

ЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

Подсекция 2.1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИМЕДИЦИНСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ И НАНОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

*Председатель – Еханин С.Г., проф. каф. КУДР, д.ф.-м.н., доцент;
зам. председателя – Романовский М.Н., доцент каф. КУДР, к.т.н.*

И.С. Арынов

УСТРОЙСТВО ДИАГНОСТИКИ СТРЕССА
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИЗМЕНЕНИЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ЧСС120

Д.В. Ибрагимов

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ВЕН
С ПОМОЩЬЮ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ123

А.М. Кишкина, В.В. Крившенко, С.С. Долматова

ПРОБЛЕМА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ
ПОСТИНСУЛЬТНОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ125

Д.Ю. Попов, П.В. Куприенко

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ЯЧЕЙКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ СИД128

А.И. Осипенко, П.Ф. Баранов

АППАРАТЫ ИСКУССТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ.
ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ. НЕДОСТАТКИ130

К.Е. Макарова, А.А. Швадленко

СОМНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАССИВНЫМ
РАДИОИЗОТОПНЫМ МЕТОДОМ135

А.Л. Герасимова, С.Е. Вишняков, Г.С. Сафонов, В.Е. Аркатов

КОРРЕКТОР ОСАНКИ ЭЛЕКТРОННЫЙ137

Подсекция 2.2

РАЗРАБОТКА КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

*Председатель – Лощилев А.Г., проректор по научной работе
и инновациям ТУСУРа, зав. каф. КУДР, к.т.н.;
зам. председателя – Бомбизов А.А., начальник СКБ «Смена», к.т.н.*

И.Д. Демидов, А.В. Александров

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКА
ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ ПЬЕЗОЭФФЕКТА140

А.В. Александров, И.Д. Демидов

ИССЛЕДОВАНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ КОМПАУНДОВ144

А.В. Александров, И.Д. Демидов ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТА ПЕЛЬТЬЕ.....	147
А.К. Пащенко, А.А. Бомбизов ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ В ЛЕСИСТОЙ МЕСТНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ LORA	150
С.М. Салиев ОБЗОР УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПРИНТЕРНОЙ ПЕЧАТИ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ.....	153

Подсекция 2.3

РАЗРАБОТКА КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

Председатель – Троян П.Е., зав. каф. ФЭ, д.т.н., проф.;
зам. председателя – Смирнов С.В., проф. каф. ФЭ, д.т.н.

А.Н. Бушмакина ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ	158
С.А. Бутянов, И.В. Кутков ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ ПЛЕНКИ SiN _x НА РЕЛЬЕФ ПОВЕРХНОСТИ GaAs.....	161
С.А. Бутянов, И.В. Кутков ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ВЛАГОСТОЙКОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ SiN _x МЕТОДОМ PECVD ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ	163
А.В. Казаков, А.С. Кузьмин, А.В. Медовник ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА НА ФОРМИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА С ПОМОЩЬЮ ФОРВАКУУМНОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОНОВ НА ОСНОВЕ КОНТРАГИРОВАННОГО ДУГОВОГО РАЗРЯДА	166
А.Е. Шестериков, Д.А. Шестерикова ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДЛЮЖКИ НА ПАРАМЕТРЫ И СТРУКТУРУ МЕДНЫХ ПЛЕНОК, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ	169

ПОДСЕКЦИЯ 2.4

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

*Председатель – Семёнов В.Д., проф. каф. ПрЭ, к.т.н.;
сопредседатели – Михальченко С.Г., зав. каф. ПрЭ, д.т.н., проф.;
Оскирко В.О., н.с. лаб. прикладной электроники ИСЭ СО РАН,
технический директор ООО «Прикладная электроника», к.т.н.*

К.Ж. Калжанов, Д.Б. Бородин

ВЫБОР КОРРЕКТИРУЮЩЕГО ЗВЕНА В СРЕДЕ
МАТЛАВ/SIMULINK ДЛЯ РЕВЕРСИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
С ТРАНЗИСТОРНО-ТРАНСФОРМАТОРНЫМ
ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫМ МОДУЛЕМ В ПРЯМОМ РЕЖИМЕ 173

В.А. Кузьмина, Р.И. Фазатдинов

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ РАСХОДА И РАВНОМЕРНОСТИ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ МНОГОКАНАЛЬНОЙ
ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ 177

В.С. Безруков, Н.С. Легостаев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧЕТЫРЕХПОРТОВОГО
ДВУНАПРАВЛЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ
ДЛЯ ВОЗБУЖДАЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ 180

Е.А. Чеботарев, Д.Б. Бородин, В.Д. Семенов

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА
С ПОМОЩЬЮ ТОКОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА 184

К.Ж. Калжанов, Д.Б. Бородин, И.Е. Гедзенко, В.Д. Семенов

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЗАРЯДНО-РАЗРЯДНОГО
УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
С ТРАНЗИСТОРНО-ТРАНСФОРМАТОРНЫМ
ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫМ МОДУЛЕМ 187

В.А. Шарыгин

ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ ПРИ ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ
ВРАЩАЮЩИМИСЯ ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ 191

И.О. Суховерков

ПРИНЦИП РАБОТЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ОГРАНИЧИТЕЛЯ ТОКА 196

Е.В. Васильева, А.В. Васильев

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ
АВТОМОБИЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ ЗВУКОВОЙ
ЧАСТОТЫ С МНОГОПЕТЛЕВОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ
В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ МАТЛАВ SIMULINK 198

Ю.Э. Воронин, А.И. Бартенев, Д.В. Семенов

ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ЗАРЯДНО-РАЗРЯДНОГО
УСТРОЙСТВА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ГИБРИДНОГО
АВТОТРАНСПОРТА 201

Подсекция 2.5

ОПТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАНОФОТОНИКА И ОПТОЭЛЕКТРОНИКА

*Председатель – Шарангович С.Н., проф., зав. каф. СВЧиКР, к.ф.-м.н.;
зам. председателя – Перин А.С., доцент каф. СВЧиКР, к.т.н.*

<i>Р.И. Анисимов, А.С. Темерева, А.Е. Шараева, А.А. Колмаков, К.П. Мельник, К.М. Мамбетова</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСИ В ДИФФУЗИОННОЙ СТРУКТУРЕ $\text{LiNbO}_3:\text{Cu}$	205
<i>А.А. Чурилин</i>	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОТОРЕФРАКТИВНОГО ЭФФЕКТА В АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО ХРОМОМ	208

Подсекция 2.6

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

*Председатель секции – Заболоцкий А.М., проф. каф. ТУ, д.т.н.;
зам. председателя – Куксенко С.П., доцент каф. ТУ, д.т.н.*

<i>А.А. Андронов</i>	
СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОЙ СЕТИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ: РЕЗУЛЬТАТЫ И СОДЕРЖАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАБОТ.....	211
<i>М.В. Храпцов</i>	
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ С РЕЗИСТИВНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ ДЛЯ ПОДОГРЕВА МИКРОСХЕМ ИНДУСТРИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	214
<i>И.А. Онищенко, А.А. Квасников</i>	
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ СИСТЕМЫ TALGAT	217
<i>В.Н. Невежин</i>	
ОБЗОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ КЛЕТОК.....	220
<i>В.Н. Невежин, И.И. Николаев</i>	
ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ КЛЕТКИ НА ЕМКОСТЬ ПЛОСКОГО КОНДЕНСАТОРА.....	223
<i>И.Е. Сагиева, Б.Е. Нурхан</i>	
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ С БОКОВЫМИ ЗАЗЕМЛЕННЫМИ ПРОВОДНИКАМИ.....	226

Т.И. Третьяков, П.А. Попов, А.А. Собко	
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПЛАТЫ УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЭКРАНИРОВАННОЙ ТЕМ-КАМЕРОЙ	229
П.А. Попов, Т.И. Третьяков, А.А. Собко	
ПЛАТА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОМЕХОЭМИССИИ И ВОСПРИИМЧИВОСТИ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА K1986BE92Q.....	232
П.А. Попов, Т.И. Третьяков, А.А. Собко	
ПЛАТА КОММУТАЦИИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЭКРАНИРОВАННОЙ КАМЕРЫ	234

Подсекция 2.7

СВЕТОДИОДЫ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

*Председатель секции – Туев В.И., зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.;
зам. председателя – Солдаткин В.С., доцент. каф. РЭТЭМ, к.т.н.*

Д.В. Кожокару	
ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА	238
А.Г. Саинский	
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ПРОЖЕКТОР ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНОЙ ВИДИМОСТИ ВСЛЕДСТВИЕ ПОВЫШЕННОГО КОЛИЧЕСТВА АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ	240
И.Д. Шарифов	
АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ ФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ОПТИЧЕСКИМИ И МЕХАНИЧЕСКИМ МЕТОДАМИ	245
М.И. Воротников	
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ Ti/Au В ВЕРТИКАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ КРИСТАЛЛОВ ИК-ДИАПАЗОНА	249

Научное издание

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР–2021

Материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2021»

19–21 мая 2021 г., г. Томск

В трех частях

Часть 1

Корректор – **В.Г. Лихачева**
Верстка **В.М. Бочкаревой**

Издательство «В-Спектр».
Сдано на верстку 20.04.2021. Подписано к печати 18.05.2021.
Формат 60×84¹/₁₆. Печать трафаретная. Печ. л. 16,4
Тираж 100 экз. Заказ 7.

Издано ТУСУР, г. Томск, пр. Ленина, 40, к. 205, т. 70-15-24
(для нужд всех структурных подразделений университета и авторов)

Издательство «В-Спектр».
634055, г. Томск, пр. Академический, 13-24, т. 8 905 089 92 40
E-mail: bvm@sibmail.com