



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-2018



**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
16–18 мая 2018 г. (в пяти частях)**

Часть 2

г. Томск

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

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР–2018

Материалы
Международной научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2018»

16–18 мая 2018 г., г. Томск

В пяти частях

Часть 2

В-Спектр
2018

УДК 621.37/.39+681.518 (063)

ББК 32.84я431+32.988я431

Н 34

Н 34 Научная сессия ТУСУР–2018: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 16–18 мая 2018 г.: в 5 частях. – Томск: В-Спектр, 2018. – Ч. 2. – 212 с.

ISBN 978-5-91191-387-8

ISBN 978-5-91191-389-2 (Ч. 2)

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, нанофотоники, 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 математическому моделированию в технике, экономике и менеджменте, 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 978-5-91191-387-8

ISBN 978-5-91191-389-2 (Ч. 2)

© Том. гос. ун-т систем управления
и радиоэлектроники, 2018

**Международная
научно-техническая конференция
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2018»,
16–18 мая 2018 г.**

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

- Шелупанов А.А. – председатель Программного комитета, ректор ТУСУРа, директор Института системной интеграции и безопасности, председатель правления Томского профессорского собрания, д.т.н., проф.;
- Мешеряков Р.В. – заместитель председателя Программного комитета, проректор по научной работе и инновациям ТУСУРа, зав. каф. БИС, д.т.н., проф.;
- Абдрахманова М.В., директор библиотеки ТУСУРа;
- Агеев Е.Ю., начальник научного управления, к.и.н.;
- Афонасова М.А., зав. каф. менеджмента, 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;
- Васильковская Н.Б., доцент каф. экономики, к.э.н., доцент;
- Голиков А.М., доцент каф. РТС, к.т.н.;
- Грик Н.А., зав. каф. ИСР, д.и.н., проф.;
- Давыдова Е.М., декан ФБ, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.;
- Демидов А.Я., проф. каф. ТОР, к.ф.-м.н., доцент;
- Дмитриев В.М., проф. каф. КСУП, д.т.н., проф.;
- Дробот П.Н., доцент каф. УИ, к.ф.-м.н.;
- Еханин С.Г., проф. каф. КУДР, д.ф.-м.н., доцент;
- Заболоцкий А.М., проф. каф. ТУ, д.т.н.;
- Зариковская Н.В., доцент каф. ЭМИС, к.ф.-м.н., доцент;
- Исакова А.И., доцент каф. АСУ, доцент, к.т.н.;
- Карателли Д., PhD [Sapienza University of Rome], технический директор компании «The Antenna Company Nederland B.V.»;
- Карташев А.Г., проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н., проф.;
- Катаев М.Ю., проф. каф. АСУ, д.т.н., проф.;
- Коцубинский В.П., зам. зав. каф. КСУП, доцент каф. КСУП, к.т.н., доцент;
- Красинский С.Л., декан ЮФ, к.и.н.;
- Лоцилов А.Г., зав. каф. КУДР, начальник СКБ «Смена» ТУСУРа, к.т.н.;
- 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. каф. «Кибербезопасность» НИЯУ МИФИ, к.т.н., г. Москва;
- Малютин Н.Д., директор НИИ систем электрической связи, проф. каф. КУДР, д.т.н., проф.;
- Михальченко Г.Я., директор НИИ ПрЭ, д.т.н., проф.;
- Мицель А.А., проф. каф. АСУ, д.т.н., проф.;
- Мозгунов А.В., начальник ОНИР;
- Озеркин Д.В., декан РКФ, к.т.н., доцент;

- Покровская Е.М., зав. каф. ИЯ, доцент, к.филос.н.;
- Разинкин В.П., проф. каф. ТОР НГТУ, д.т.н., проф., г. Новосибирск;
- Семенов Э.В., проф. каф. РСС, д.т.н., доцент;
- Сенченко П.В., декан ФСУ, доцент каф. АОИ, к.т.н., доцент;
- Сулова Т.И., декан ГФ, зав. каф. ФИС, д.филос.н., проф.;
- Троян П.Е., зав. каф. ФЭ, проректор по учебной работе, д.т.н., проф.;
- Хаминов Д.В., зав. каф. ТП, зам. декана ЮФ, к.и.н.;
- Ходашинский И.А., проф. каф. КИБЭВС, д.т.н., проф.;
- Шарангович С.Н., проф., зав. каф. СВЧКР, к.ф.-м.н.;
- Шостак А.С., проф. каф. КИПР, д.т.н.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

- Мещеряков Р.В., проректор по научной работе и инновациям ТУСУРа, зав. каф. БИС, д.т.н., проф.;
- Агеев Е.Ю., начальник научного управления, к.т.н.;
- Коротина Т.Ю., заведующая аспирантурой, к.т.н.;
- Юрченкова Е.А., вед. инженер ОППО, к.х.н.;
- Медовник А.В., председатель Совета молодых ученых, доцент каф. физики, к.т.н.;
- Боберь Ю.Н., инженер ОППО;
- Покровская Е.М., зав. каф. ИЯ, доцент, к.филос.н.

СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

Секция 1. Радиотехника и связь

- Подсекция 1.1. Радиотехнические системы и распространение радиоволн. Председатель секции – *Тисленко Владимир Ильич*, проф. каф. РТС, д.т.н.; зам. председателя – *Захаров Фёдор Николаевич*, 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, доцент, д.т.н.; зам. председателя – *Артищев Сергей Александрович*, доцент каф. КУДР, м.н.с. СКБ «Смена», к.т.н.
- Подсекция 1.5. Аудиовизуальная техника, цифровое телерадиовещание и информационный сервис. Председатель секции – *Курычий Михаил Иванович*, доцент каф. ТУ, к.т.н.; зам. председателя – *Костевич Анатолий Геннадьевич*, доцент каф. ТУ, к.т.н., с.н.с.
- Подсекция 1.6. Инфокоммуникационные технологии и системы широкополосного беспроводного доступа. Председатель секции – *Демидов Анатолий Яковлевич*, зав. каф. ТОР, к.ф.-м.н.;

зам. председателя – *Гельцер Андрей Александрович*, доцент каф. ТОР, к.т.н.

Подсекция 1.7. Робототехника. Председатель секции – *Коцубинский Владислав Петрович*, доцент каф. КСУП, к.т.н.; зам. председателя – *Винник Александр Евгеньевич*, н.с. каф. КСУП.

Подсекция 1.8. Интеллектуальные системы проектирования технических устройств. Председатель секции – *Шурыгин Юрий Алексеевич*, первый проректор, зав. каф. КСУП, д.т.н., проф.; зам. председателя – *Черкашин Михаил Владимирович*, доцент каф. КСУП, к.т.н.

Секция 2. Электроника и приборостроение

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

Подсекция 2.2. Разработка контрольно-измерительной аппаратуры. Председатель секции – *Лоцилов Антон Геннадьевич*, зав. каф. КУДР, начальник СКБ «Смена», к.т.н.; зам. председателя – *Убайчин Антон Викторович*, с.н.с. СКБ «Смена», к.т.н.

Подсекция 2.3. Физическая и плазменная электроника. Председатель секции – *Троян Павел Ефимович*, проректор по УР, 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 – *Михальченко Геннадий Яковлевич*, директор НИИ ПрЭ, д.т.н., проф.; зам. председателя – *Семёнов Валерий Дмитриевич*, проф. каф. ПрЭ, к.т.н.

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

Подсекция 2.7. Светодиоды и светотехнические устройства. Председатель секции – *Туев Василий Иванович*, зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.; зам. председателя – *Вилисов Анатолий Александрович*, проф. каф. РЭТЭМ, д.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*, декан ФСУ, доцент каф. АОИ, к.т.н.; зам. председателя – *Сидоров Анатолий Анатольевич*, доцент 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*, доцент каф. КСУП, к.т.н.
- Подсекция 3.4. Моделирование в естественных и технических науках. Председатель секции – *Зариковская Наталья Вячеславовна*, доцент каф. ЭМИС, к.ф.-м.н.; зам. председателя – *Колотаев Илья Владимирович*, разработчик ООО «СибирьСофтПроект».
- Подсекция 3.5. 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 3.6. Современные библиотечные технологии. Председатель секции – *Абдрахманова Марина Викторовна*, директор библиотеки ТУСУРа; зам. председателя – *Карауш Александр Сергеевич*, доцент каф. РСС, к.т.н.
- Подсекция 3.7. Молодежные инновационные научные и научно-технические проекты. Председатель секции – *Дробот Павел Николаевич*, доцент каф. УИ, к.ф.-м.н.; зам. председателя – *Нариманова Гуфана Нурлабековна*, зав. каф. УИ, к.ф.-м.н., доцент.
- Подсекция 3.8. Разработка программного обеспечения. Председатель секции – *Гордиевских Вячеслав Валерьевич*, генеральный директор ООО «СибирьСофтПроект»; зам. председателя – *Зариковская Наталья Вячеславовна*, доцент каф. ЭМИС, к.ф.-м.н.
- Подсекция 3.9. 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 Алек-*

сандр Александрович, ректор 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 – *Бернгардт Александр Самуилович*, доцент каф. РТС, к.т.н.

Подсекция 4.3. Экономическая безопасность. Председатель секции – *Кузьмина Елена Александровна*, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.; зам. председателя – *Глухарева Светлана Владимировна*, ст. 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*, доцент 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.; 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, зав. каф. ФиС, д.филос.н., проф.; зам. председателя – *Орлова Вера Вениаминовна*, проф. каф. ФиС, директор НОЦ «СГТ», д.соц.н.

Подсекция 5.6. Актуальные проблемы социальной работы в современном обществе. Председатель секции – *Грик Николай Антонович*, зав. каф. ИСР, д.и.н., проф.; зам. председателя – *Куренков Артем Валериевич*, доцент каф. ИСР, к.и.н.

Школа-семинар: Правовые проблемы современной России. Председатель секции – *Хаминов Дмитрий Викторович*, зав. каф. ТП, зам. декана ЮФ, к.и.н.; 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.; 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, доцент, к.филол.н.; зам. председателя – *Шпит Елена Ирismetовна*, ст. преподаватель каф. ИЯ; *Соболевская Ольга Владимировна*, ст. преподаватель каф. ИЯ.

Круглый стол «Интеграция образовательных технологий и ресурсов школы, техникума и вуза в целях повышения качества непрерывной подготовки специалистов»

Адрес оргкомитета:

**634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40,
ФГБОУ ВО «ТУСУР», Научное управление (НУ), к. 205
Тел.: 8-(382-2) 701-524; e-mail: nstusur@main.tusur.ru**

Распределение публикаций по секциям и частям сборника:

1-я часть – 1-я секция (подсекции 1.1 – 1.8);

2-я часть – 2-я секция (подсекции 2.1 – 2.7);

3-я часть – 3-я секция (подсекции 3.1 – 3.9);

4-я часть – 4-я секция (подсекции 4.1 – 4.3);

6-я секция; 8-я секция; материалы докл. круглого стола;

5-я часть – 5-я секция (подсекции 5.1 – 5.6); школа-семинар.

7-я секция – материалы с докладами школьников печатаются отдельным сборником.

Спонсор конференции – Группа компаний «Научное оборудование»



Группа компаний
«Научное оборудование»
630128, Россия, г. Новосибирск,
ул. Инженерная, 4а, оф. 212

383 330 8295
495 150 3295
www.spegroup.ru

Группа компаний «Научное оборудование» была образована в 1999 г. Основное направление деятельности компании – снабжение высокотехнологичным оборудованием учебных, научно-исследовательских и промышленных предприятий Сибири и Дальнего Востока России.

Мы анализируем задачи заказчика, подбираем оборудование под каждый конкретный случай, осуществляем поставку оборудования, а также оказываем технологическую и методологическую поддержку, гарантийный и послегарантийный ремонт. Некоторые наши заказчики доверяют нам полное закрытие всех потребностей своих лабораторий и в оборудовании, и в расходных материалах.

В штате компании состоят высококвалифицированные технические специалисты с собственным опытом научной работы. Наши специалисты регулярно знакомятся с новинками оборудования, с новыми подходами в приборостроении, посещают международные выставки и обучающие семинары от производителей. Для каждой задачи заказчика мы можем предложить самое современное решение. Существующие рабочие связи со многими лабораториями СО РАН позволяют оперативно привлекать к решению задач заказчика профильных научных специалистов. Кроме того, мы сами организуем мастер-классы и семинары, на которых наши заказчики имеют уникальную возможность познакомиться с новейшим оборудованием для решения своих задач.

У нас налажены партнерские отношения со многими ведущими мировыми производителями научного и технологического оборудования как в России, так и за рубежом. У компании есть свой инженерный департамент; в случае необходимости мы можем самостоятельно разработать решение непосредственно под задачу заказчика.

Нашими заказчиками являются все академические институты Сибирского отделения Российской академии наук, многие промышленные предприятия, технологические компании, учебные заведения высшего образования Сибирского и Дальневосточного регионов.

Кроме деятельности по поставке и разработке оборудования, мы участвуем в продвижении разработок институтов СО РАН на внешний рынок, организуем совместные проекты институтов СО РАН с разными организациями по разработке конкретных технологических и наукоёмких решений.

Мы видим своей целью построение долгосрочных взаимовыгодных отношений с каждым нашим заказчиком.

Спонсор конференции – ООО «Кейсайт Текнолоджиз»



**KEYSIGHT
TECHNOLOGIES**

ООО «Кейсайт Текнолоджиз»
Россия, 115054, г. Москва
Космодамианская наб., 52, стр. 3

Тел.: 495 797 39 00
Факс: 495 797 39 02
www.keysight.ru

Keysight Technologies – мировой технологический лидер на рынке контрольно-измерительных решений для электронной, оборонной, аэрокосмической и телекоммуникационной промышленности.

Как самостоятельная компания Keysight Technologies была образована в 2014 г. в результате стратегического разделения компании Agilent Technologies, которая, в свою очередь, до 1999 г. входила в корпорацию Hewlett-Packard. Первый измерительный прибор под маркой Hewlett-Packard был выпущен более 75 лет назад.

В настоящий момент компания Keysight Technologies предоставляет самый широкий на рынке спектр лабораторных, модульных и портативных контрольно-измерительных приборов, в т.ч. оборудование для радиоизмерений (генераторы сигналов, анализаторы сигналов, анализаторы цепей), осциллографы и приборы общего назначения (мультиметры, источники питания, генераторы импульсов, системы сбора данных, логические анализаторы, ручные приборы), решения для тестирования телекоммуникаций, а также системы автоматизированного проектирования и моделирования электронных устройств.

В России приборы Keysight Technologies, ранее производимые под маркой Hewlett-Packard/Agilent, используются уже более 45 лет и по праву считаются наиболее точным и надежным контрольно-измерительным оборудованием на рынке.

Российский офис компании Keysight Technologies предлагает своим клиентам локальную техническую и сервисную поддержку, техническую документацию на русском языке. Для серий малогабаритных осциллографов, генераторов сигналов и анализаторов спектра разработаны русскоязычные интерфейсы пользователя. На большинство приборов есть сертификаты об утверждении типа средств измерений. На постоянной основе ведется работа по включению в Госреестр новых приборов Keysight Technologies.

Среди крупнейших заказчиков Keysight Technologies в России ведущие научно-исследовательские институты, конструкторские бюро, вузы, крупнейшие операторы связи.

В 2012 г. компания Keysight Technologies открыла два дополнительных региональных офиса в России – в Приволжском и Сибирском федеральных округах. В 2013 г. дополнительный офис открыт в Ростове-на-Дону, в 2014 г. – в Санкт-Петербурге.

Информация о компании Keysight Technologies доступна в сети Интернет по адресу: www.keysight.ru

*Генеральный директор ООО «Кейсайт Текнолоджиз»
Смирнова Галина Владимировна*

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.*

КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РИТМИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛЬНОЙ СТИМУЛЯЦИИ СЕНСОМОТОРНЫХ РЕАКЦИЙ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА

М.А. Канина, студентка

*Научный руководитель М.Н. Романовский, доцент каф. КУДР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, rmn@vtomske.ru*

Метод регистрации сенсомоторных реакций широко используется для исследования психофизиологических показателей человека, оценивания динамики нервных процессов в организме [1, 2]. Время простой сенсомоторной реакции отражает функциональное состояние ЦНС, подвижность нервных процессов, некоторые другие свойства нервной системы. В случае сложной сенсомоторной реакции учитываются и время, и правильность исполнения. Количество ошибок связывают с концентрацией внимания; зависит оно и от таких факторов, как объем и переключение внимания, оперативная память, мышление, личностные особенности испытуемых. Динамика показателей сложных реакций позволяет достоверно судить о наличии у человека того или иного состояния [1].

Разработка устройств ритмической визуальной стимуляции (ВС) головного мозга предполагает проведение соответствующих экспериментов. Цель настоящей работы – создание компьютерной программы для исследования влияния ВС на параметры сенсомоторной деятельности человека-оператора.

Для программирования использована интегрированная среда разработки (IDE) Qt Creator [3]. Основная задача IDE – упростить разработку приложений с помощью фреймворка (каркаса) Qt на разных платформах. IDE включает расширенный редактор кода с поддержкой

C++, QML и ECMAScript, контекстно-зависимую справку, графические средства Qt Designer и возможность отладки приложений.

В разработанной программе ВС достигается за счет модуляции яркости экрана монитора. После запуска программы на выполнение предполагается следующий порядок действий.

1. В появившемся окне оператор вводит персональные данные (ФИО), цвет фона (зеленый, красный, синий), частоту ритмической стимуляции. При установке частоты 0 Гц модуляции яркости экрана не происходит.

2. Кнопкой «Начать» оператор запускает процесс ВС с установленными параметрами. Персональные данные оператора, параметры ВС и результаты выполнения теста автоматически (в фоновом режиме) заносятся в таблицу base.xlsx.

3. После завершения теста нажатие кнопки «Заново» вновь открывает окно по п. 1. Для окончания работы необходимо нажать кнопку закрытия программы.

Важными условиями регистрации параметров сенсомоторной деятельности являются [2]:

- 1) установка реагировать как можно быстрее;
- 2) тренировочные пробы;
- 3) достаточное количество контрольных проб (не менее 10);
- 4) случайный порядок появления сигналов, позволяющий ослабить привыкание, т. е. избежать уменьшения реакции на повторяющиеся раздражители.

Второе условие основывается на том, что совершенствование моторного акта сопровождается минимизацией взаимодействия уровней управления двигательной активностью [5].

В настоящее время подготовлен 1 тест для оценивания динамики сенсомоторных реакций. Тест предполагает вывод на экран в произвольном порядке букв и цифр, представленных на клавиатуре. Задача оператора – нажать соответствующую клавишу. Фиксируются последовательность символов, время реакций оператора на их появление, ошибки, общее время выполнения теста, частота стимуляции.

Работа над тестами продолжается. Следующий тест – простая психомоторная реакция – отличается тем, что очередной символ появляется на экране с задержкой, произвольно изменяющейся в заданном диапазоне (от 2 до 10 секунд). Задача оператора – нажать клавишу Enter непосредственно после появления символа на экране.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильин Е.П. Психомоторная организация человека: учеб. для вузов. – СПб.: Питер, 2003. – 382 с.

2. Нехорошкова А.Н., Грибанов А.В., Депутат И.С. Сенсомоторные реакции в психофизиологических исследованиях (обзор) // Журнал медико-биологических исследований. – 2015. – № 1. – С. 38–48.

3. Qt Creator [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://wiki.qt.io/Qt_Creator/ru, свободный (дата обращения: 19.11.2017).

4. Люксметр-пульсметр-яркомер RADEX LUPIN [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.quarta-rad.ru/catalog/luxmetr/luxmetr-pulsometr-yarkomer-radex-lupin/>, свободный (дата обращения: 19.06.2015).

5. Бернштейн Н.А. Физиология движений и активность. – М.: Наука, 1990. – 494 с.

6. Ахраров Н.М., Баранова Ю.А., Васильева М.В., Романовский М.Н. Ритмическая стимуляция пропускной способности человека-оператора // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2015. – Т. 15. – №5. – С. 60–63.

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА И КРИТИЧЕСКАЯ ЧАСТОТА СВЕТОВЫХ МЕЛЬКАНИЙ

П.С. Матросова, К.С. Суханова, студентки

*Научный руководитель М.Н. Романовский, доцент каф. КУДР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, rmn@vtomske.ru*

Лабильность зрительного аппарата в значительной степени определяет успешность деятельности человека в ряде профессий, связанных с приемом и переработкой визуальной информации. В качестве индикатора лабильности принята критическая частота световых мельканий (КЧСМ) – минимальная частота мельканий, при которой свечение субъективно воспринимается как постоянное. Изменчивость КЧСМ оператора в пределах некоторого индивидуального диапазона позволяет судить о его функциональном состоянии [1].

Сообщалось [2], что ритмическая визуальная стимуляция (ВС) повышает пропускную способность и надежность оператора системы человек-компьютер. Цель настоящей работы – оценить влияние КЧСМ на скорость переработки информации (СПИ) человеком-оператором без и под воздействием ВС.

Для определения КЧСМ использовали зеленые индикаторные светодиоды в оправе аппарата психоэмоциональной коррекции [3]. Электропитание светодиодов осуществляли от генератора прямоугольных импульсов FG-7020А, скважность импульсов составляла 50%. СПИ вычисляли по результатам выполнения экспресс-теста [2] для мужчин и женщин при зеленом, красном и синем фоне. КЧСМ определяли до функциональных проб (ФП). ФП проводили в последо-

вательности [4]: 1) до ВС; 2) ВС с частотой 8 Гц; 3) ВС 12 Гц; 4) ВС 16 Гц; 5) после ВС.

КЧСМ у человека изменяется в пределах от 14 до 70 Гц [1]. Результат измерений зависит от ряда физических факторов: зоны освещенности и ее проекции на сетчатке, яркости, угловых размеров, длины волны стимулов. При зеленом стимуле норма КЧСМ находится в пределах от 46 до 52 Гц.

В проведенных экспериментах КЧСМ изменяется в диапазоне от 51,5 до 76 Гц для женщин и от 52,3 до 77,6 Гц для мужчин. Превышение нормы обусловлено использованием нестандартной методики определения КЧСМ.

Стохастическая связь СПИ до ВС с КЧСМ прямая и слабая по шкале Чеддока (рис. 1, $R = 0,18 \div 0,31$). Более тесная связь СПИ с КЧСМ проявляется для операторов женщин при зеленом фоне на частоте 8 Гц ($R = 0,58$) и при красном фоне после ВС ($R = 0,74$), для операторов мужчин – при зеленом ($R = 0,59$) и синем ($R = 0,64$) фоне на частоте 16 Гц (рис. 2). Отметим, что по данным [5] в электроэнцефлограмме у женщин выше амплитуда, больше представлены бета-волны (13÷39 Гц), а также меньше альфа- (8÷13 Гц) и тета-волны (4÷8 Гц), чем у мужчин.

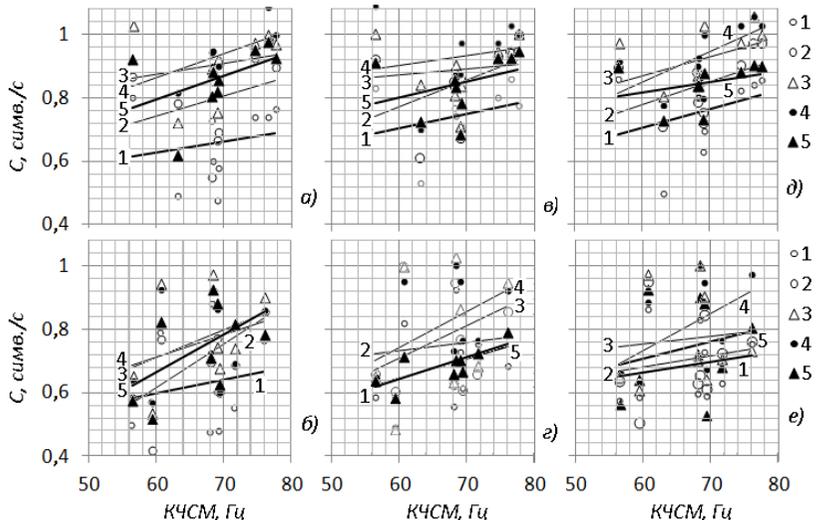


Рис. 1. Линейная регрессия СПИ на КЧСМ для мужчин (а, в, д) и женщин (б, г, е) при зеленом (а, б), красном (в, г) и синем (д, е) фоне в последовательности ФП

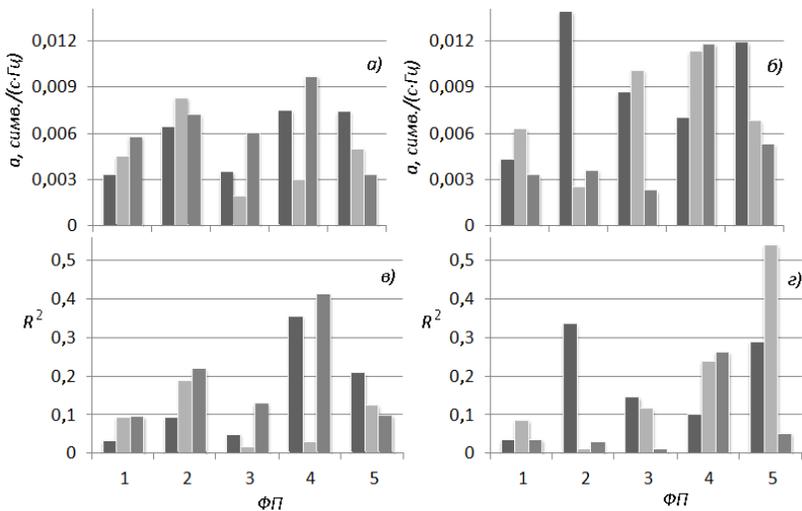


Рис. 2. Параметры a линейной регрессии СПИ на КЧСМ и коэффициенты детерминации для мужчин (а, в) и женщин (б, г) в последовательности ФП

Наклон регрессионных прямых a на КЧСМ для большинства ФП изменяется подобно коэффициенту детерминации R^2 (рис. 2). Теснота связи a и R^2 (рис. 3, а) высокая для операторов мужчин ($R = 0,87$) и весьма высокая для операторов женщин ($R = 0,96$). С медианными значениями СПИ [4] связь коэффициента детерминации (рис. 3, б) слабая для мужчин ($R = 0,30$) и заметная для женщин ($R = 0,66$).

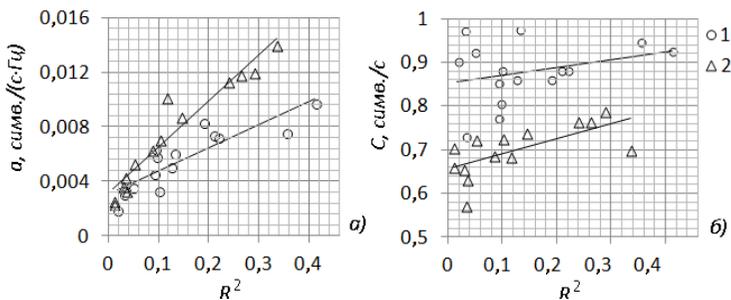


Рис. 3. Линейная регрессия параметра a на R^2 (а) и на медианные значения СПИ (б) для мужчин (1) и женщин (2) в последовательности ФП

Согласно [2], СПИ ограничена временем выбора оператором нужных символов на клавиатуре. Лица с более высокой лабильностью, определяемой по КЧСМ, быстрее воспринимают информацию, способны совершать движения в более высоком темпе [1].

Можно заключить, что СПИ достигает больших значений у операторов с большими значениями КЧСМ. Для мужчин эффект ВС максимально зависит от КЧСМ при синем фоне на частоте 16 Гц, для женщин – при красном фоне после ВС. При изменении КЧСМ до ВС на 1 Гц СПИ в последовательности ФП изменяется не более, чем на 0,01 символа в секунду для мужчин и на 0,014 символа в секунду для женщин.

Повышение тесноты связи СПИ и КЧСМ при некоторых ФП с сопутствующим возрастанием наклона регрессионных прямых требуют дополнительного исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кирой В.Н. Физиологические методы в психологии: учеб. пособие. – Ростов-н/Д.: ООО «ЦВВР», 2003. – 224 с.
2. Ахраров Н.М., Баранова Ю.А., Васильева М.В., Романовский М.Н. Ритмическая стимуляция пропускной способности человека-оператора // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2015. – Т. 15. – №5. – С. 60–63.
3. Бугров Е.В. Аппарат визуальной светотерапии / Е.В. Бугров, А.А. Бомбизов, М.Н. Романовский// Доклады ТУСУРа. – 2012, № 1 (25). – Ч. 2. – С. 270–272.
4. Суханова К.С., Канина М.А. К влиянию частоты ритмической визуальной стимуляции на пропускную способность человека-оператора / Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР, 2018: в 3 ч. – Ч. 2. – Томск, В-Спектр.

ПОДСЕКЦИЯ 2.2

РАЗРАБОТКА КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

*Председатель – Лоцилов А.Г., зав. каф. КУДР,
начальник СКБ «Смена», к.т.н.
зам. председателя – Убайчин А.В., с.н.с. СКБ «Смена», к.т.н.*

ИЗМЕРЕНИЕ И АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПЧЕЛИНЫХ УЛЬЕВ

*А.К. Пащенко, С.А. Холодных, студенты каф. КУДР
Научный руководитель А.Г. Лоцилов, к.т.н., нач. СКБ «Смена»
г. Томск, ТУСУР, mid150@mail.ru
Проект ГПО КУДР-1703 «Разработка устройства контроля
состояния пчелиного улья»*

Специальные акустические сигналы, а также звуки, сопутствующие различным процессам жизнедеятельности пчел, отражают их состояние и реакции на различную стимуляцию. В отличие от визуальных наблюдений акустический метод позволяет контролировать поведение пчел без дополнительного освещения, не нарушая естественного хода биологических процессов, протекающих в семье [1].

Большинство устройств анализа звукового сигнала пчелиного улья, представляют собой микрофон и прибор-анализатор. В качестве последнего может выступать либо отдельно спроектированное устройство [2], либо смартфон с необходимым программным обеспечением [3].

В качестве записывающего устройства использовался диктофон Ritmix RR-810 [4] (рис. 1, а) в связке с петличным микрофоном (рис. 1, б).

Методика измерения сводилась к замеру сигнала в каждом улье. С последующим анализом в программе Mathcad.

Недостатком текущего метода является то, что в ходе измерения приходилось постоянно тревожить пчёл, что негативно сказывалось на достоверности данных, так как после вмешательства в среду обитания пчелосемьи ей необходимо успокоиться.

В итоге были проведены исследования тридцати ульев. На рис. 2 и 3 представлены проанализированные данные звукового спектра

жужжания пчёл двух ульев, сделанные через некоторый промежуток времени. Оба графика нормированы по максимуму амплитуды. Разница между снятием аудио сигнала, для построения графиков t_{norm1} и t_{norm2} , составляет две недели.



Рис. 1. Диктофон Ritmix RR-810 (а) и петличный микрофон (б)



Как видно из графиков, основные всплески амплитуды, с течением времени изменяются. Это можно объяснить тем, что семья развивается и готовится к медосбору.

В процессе анализа были выявлены серьёзные недочёты. Одним из которых является регистрация жужжания одной, конкретной пчелы, находящейся в непосредственной близости к микрофону, что отрицательно влияет на анализ состояния целого улья, искажая, собственным шумом, общую картину.

В связи с возникшими проблемами необходимо производить анализ при помощи оборудования, которое можно монтировать в улей, чтобы не нарушать привычной среды обитания пчелосемей. Также, хотелось бы снимать сигнал с нескольких источников, для исключения анализа одной пчелы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акустическая диагностика и таксономия // Улей. – 2018. – URL: <https://sites.google.com/site/ulejbee/interesnoe-o-pcelah/akusticeskaa-diagnostika-i-taksonomia> (дата обращения: 13.03.2018).

2. Анализ состояния пчелосемей с помощью электронно-акустических датчиков // ЦТТ «Городской» г. Липецка. – 2018. – URL: <http://tech-edu.ru/electronics/bees> (дата обращения: 13.03.2018).

3. APIVOX_AUDITOR – акустический помощник пчеловода // APIVOX_AUDITOR. – 2018. – URL: <https://www.apivoxauditor.com/1056109110891089108210801081.html> (дата обращения: 13.03.2018).

4. RR-810 // Ritmix. – 2018. – URL: <http://www.ritmixrussia.ru/products/rr-810> (дата обращения: 13.03.2018).

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ЗАДАЧЕ ДИАГНОСТИКИ ДЕФЕКТНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ БЕТОНА

К.С. Колесов, студент каф. КУДР

Научный руководитель С.А. Артищев, м.н.с. СКБ «Смена», к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, 824tusur@mail.ru

Проект ГПО КУДР-1803 «Система диагностики изделий из бетонов»

Изменение технического состояния бетонных конструкций в процессе эксплуатации – естественное явление. Эффективность и возможность поддержания и восстановления технического состояния во многом зависит от своевременности его оценки.

Существует задача диагностики качества бетона и обнаружения дефектов в нем. Для этих целей в коллективе СКБ «Смена» и коллек-

тивом НИ ТПУ разрабатывается прибор для дефектоскопии бетона. В основе его работы лежит явление механоэлектрических преобразований в диэлектрических материалах. Предполагается, что пьезосодержащие неоднородности излучают электромагнитное поле при их механическом импульсном возбуждении (ударе). Таким образом по спектру электромагнитного отклика можно судить о наличии дефектов [1].

Для диагностики бетона используется ударный механизм на основе электромагнитного соленоида. С помощью магнитного поля внутри соленоида стержень из ферромагнитного материала разгоняется и ударяет по металлическому основанию, плотно прилегающему к исследуемому бетонному сооружению, тем самым возбуждая акустическую волну. При этом необходимо контролировать параметры ударного воздействия.

Целью работы является создание программы для статистической обработки и расчета доверительных интервалов измеренных параметров ударного воздействия.

В качестве основных параметров ударного воздействия были выбраны: длительность удара ($t_{уд}$) и кинетическая энергия стержня (E_K) [1]. Задача определения кинетической энергией стержня, сводится к измерению его скорости в момент удара. Для этой цели на верхнем конце стержня установлена пластина, имеющая чередующиеся щели, и размещенная между светоизлучателем и фотоприемником оптрона. Движение стержня приводит к появлению последовательности импульсов U_V на выходе фотоприемника. Длительность каждого импульса t соответствует времени прохождения стержнем расстояния равному размеру щели S .

Анализ экспериментальных данных производился в программе MathCad. Из файлов поочередно считываются данные с оптического датчика и рассчитывается по ним скорость движения стержня V .

$$V = S/t. \quad (1)$$

где S – ширина щели на гребенке стержня, мм; t – длительность импульса напряжения, мс.

Экспериментальная установка не обеспечивает повторяемость ударов. Поэтому необходимо провести многократные измерения и определить исходя из полученных значений параметры ударного воздействия.

При проведении многократных измерений необходимо определить доверительные интервалы. Для этого потребуется рассчитать математическое ожидание P (среднее) и дисперсию D (характерный разброс величин относительно этого математического ожидания)

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i, \quad (2)$$

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - P)^2. \quad (3)$$

где P_i – измеренное значение; n – количество измерений/

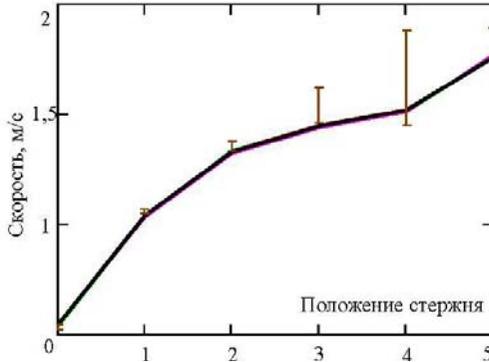


Рис. 1. Изменение скорости стержня за время движения

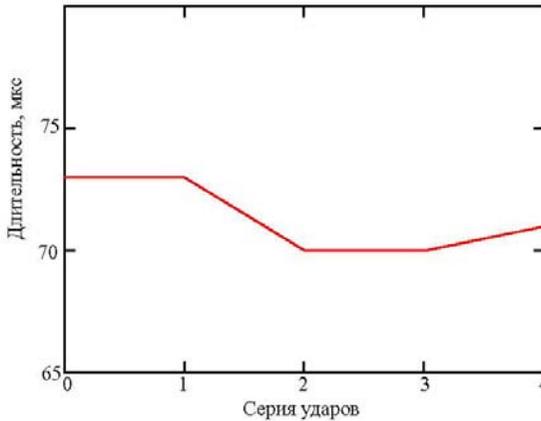


Рис. 2. Длительность удара

Закключение. На приведенных графиках видно плавающие значения ударных импульсов, что наглядно показывает не совершенство конструкции. Возможно, если сделать конструкцию более жесткой, измерительную решетку вырезать на лазерном станке, скомпоновать

всю управляющую аппаратуру на одну печатную плату. Предполагаю, удастся добиться более стабильных показаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артищев С.А. Установка для измерения параметров механических ударных воздействий в задаче диагностики изделий из бетона / С.А. Артищев, А.Д. Другова, А.Г. Лоцилов // Электронные средства и системы управления: матер. докл. XIII Междунар. науч.-практ. конф. (29 нояб. – 1 декаб. 2017 г.): в 2 ч. – Ч. 1. – Томск: В-Спектр, 2017. – С. 154–156.

2. Фурса Т.В. Исследование формы электромагнитных сигналов, возникающих при деформации диэлектриков: Том. политехн. университет. – Томск, 1986, 7 с. / Деп. в ВИНТИ, № 4082–85 Деп.

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ПЧЕЛИНОГО УЛЬЯ

А.К. Пащенко, студент

Научный руководитель А.Г. Лоцилов, к.т.н., нач. СКБ «Смена»

г. Томск, ТУСУР, каф. КУДР, mid150@mail.ru

Проект ГПО КУДР-1703 «Разработка устройства контроля состояния пчелиного улья»

Пчеловодам, имеющим большое хозяйство, довольно сложно уследить за состоянием каждой пчелосемьи, а значит, они не могут своевременно предупредить и устранить возникающие проблемы, такие как болезни, роение, смерть матки. Всё это приводит к уменьшению объёма медосбора.

После изучения публикаций на тему акустической сигнализации насекомых [1, 2], стало известно, что шум жужжания пчёл, в зависимости от ситуации и породы, изменяется в известном узком диапазоне частот [3]. Следовательно, можно довольно точно оценивать состояние улья. На этом основании, устройство по обеспечению контроля, должно анализировать амплитудно-частотные характеристики звукового сигнала и информировать при их отклонении от нормы.

В связи с тем, что в случае беспокойства пчёл, для снятия акустических характеристик, можно получить искажённые данные, конечное устройство должно работать автономно и, после фиксации изменений, уведомлять пчеловода о результатах. Необходимо отметить, что существующие технические решения позволяют проводить анализ лишь в присутствии человека [4].

Разработка автономного устройства, позволит снимать аудио сигнал, исключая присутствие человека, а значит, анализ может производиться как непрерывно, так и через определённые промежутки времени.

Так как при записи жужжания пчелосемьи при помощи одного микрофона, имеет место анализ конкретного индивида, а не всего улья, возникла мысль, что прибор должен снимать показания с нескольких источников, для дальнейшего анализа.

На рис. 1 представлена схема конечного устройства, где аудио сигнал фиксируется с нескольких микрофонов, после чего попадает в аналогово-цифровой преобразователь и, дальше, при помощи математических алгоритмов, анализируется.



Рис. 1. Схема устройства, где SM1–SMn – микрофоны

Выполнение такой задачи – трудоёмкий процесс, который требует большого количества оперативной памяти, так как анализ необходимо проводить по мере поступления новых данных.

За основу выбрана плата (рис. 2) с микроконтроллером «STM32F103C8T6».

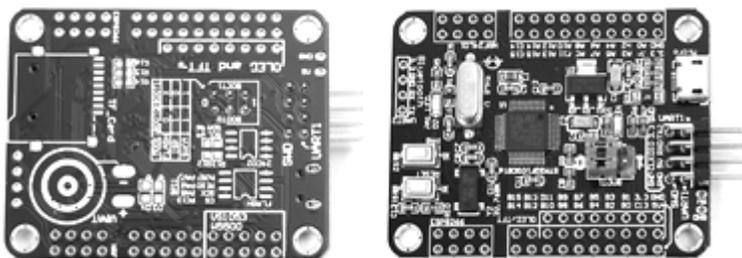


Рис. 2. Отладочная плата

Такой выбор был сделан на основе предъявляемых требований: прототип должен обладать низкой стоимостью и достаточным количеством оперативной памяти для осуществления оцифровывания и анализа входных данных.

Данный чип работает на частоте 72 МГц, имеет двенадцатибитный АЦП и 20 КБ ОЗУ [5], чего хватает для реализации поставленной задачи. На выбранной плате имеется место для размещения microSD-карты, что существенно облегчает дальнейшую работу.

Для снятия звукового сигнала, был выбран пьезоэлектрический микрофон, расположенный на плате с предусилителем «MAX9814» (рис. 3) [6].

Выбранный микроконтроллер имеет в своём составе два АЦП, которые способны работать с шестнадцатью каналами.

В среде разработки CoIDE, в основном, с использованием стандартной библиотеки предоставляемой компанией STMicroelectronics для выпускаемых чипов, были написаны функции взаимодействия микроконтроллера с периферией.

При помощи сторонней библиотеки FatFs [7], которая находится в свободном доступе, настроено общение с SD-картой при поддержке файловой системы FAT32.

В итоге, на данный момент, для проведения записи с целью накопления информационной базы, для дальнейшего анализа, задействован один аналого-цифровой преобразователь, снимающий данные с нескольких каналов. Оцифрованные данные хранятся на microSD накопителе в аудиофайле, формата wave, который можно воспроизвести на любом компьютере или произвести математический анализ, например, при помощи программы Mathcad.



Рис. 3. Микрофон

ЛИТЕРАТУРА

1. Еськов Е.К. Акустическая сигнализация общественных насекомых. – М.: Наука, 1979. – 209 с.
2. Рыбочкин А.Ф. Контроль состояния пчелиных семей по частотному спектру / А.Ф. Рыбочкин, И.С. Захаров // Международный сборник. Швейцария, Лозанна. – 1995. – С. 58.
3. Дрейзин В.Э. Акустический контроль пчелиных семей с помощью вычислительной техники / В.Э. Дрейзин и др. // Пчеловодство. – 2000. – № 4. – С. 25–27.
4. Пашенко А.К. Измерение и анализ акустических сигналов пчелиных ульев / А.К. Пашенко, С.А. Холодных // Материалы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2018». В наст. сборнике.
5. STM32F103C8T6 // STMicroelectronic. – 2018. – URL: <http://www.st.com/en/microcontrollers/stm32f103c8.html> (дата обращения: 13.03.2017).
6. MAX9814 // Maxim integrated. – 2018. – URL: <https://www.maximintegrated.com/en/products/analog/audio/MAX9814.html> (дата обращения: 13.03.2018).
7. FatFs // FatFs – Generic FAT Filesystem Module. – 2018. – URL: http://elm-chan.org/fsw/ff/00index_e.html (дата обращения: 13.03.2018).

**ПАТЕНТНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОИСК
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ СБОРА ДАННЫХ
В СРАВНЕНИИ С КОНТРОЛЛЕРОМ «ЭЛСИМА»
ДЛЯ МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА**

П.П. Легкодымов, магистрант каф. УИ,

А.А. Сидоров, бакалавр каф. КСУП

*Научный руководитель П.Г. Нестеренко, вед. спец. компании «ЭлеСи»
г. Томск, ТУСУР, legkodymov.pavel94@gmail.com,
alex-9605@yandex.ru, pnesterenko@ngs.ru.*

Новые технологии создаются для того, чтобы упрощать жизнь людям. На сегодняшний день, они все глубже проникают в обыденную жизнь, создают новые возможности для комфортной жизни людей. Современные инженерные технологии могут мгновенно подстраиваться под потребителя, предоставляя массу возможностей.

Данная работа посвящена представлению результатов информационно-патентного поиска уже существующих автоматизированных систем сбора данных, в сравнении с контроллером «Элсима» для многоквартирного жилого дома.

Контроллер «Элсима» предназначен для измерения расхода ресурсов, который поддерживается учет расхода холодной и горячей воды, электроэнергии и тепла. Цель разработки заключается в относительно дешевой комплексной системе, позволяющей снимать все данные ресурсов дома, которыми пользуются жильцы.

Контроллер представляет собой функциональное законченное изделие, имеющее необходимое количество каналов ввода-вывода, конфигурируемых на различные виды входных и выходных сигналов. При необходимости, для увеличения количества сигналов, контроллер позволяет подключать модули удаленного ввода-вывода серии «Элсима» и аналогичные [1]. Данная система позволяет вести учет потребления ресурсов, закреплять счетчики за потребителями, контролировать в реальном времени текущее потребление, сводить баланс поступления и потребления ресурсов на объекте, контролировать линии связи со счетчиками, вести журнал изменений в системе.

Информационно-патентный поиск является необходимым этапом к коммерциализации любой разработки. Он позволяет установить новизну изобретения, ее уникальность и выявить возможные аналоги, и как вследствие, конкурентов.

Теоретико-методологической базой исследования явилась Российская база патентов – ФИПС (Федеральный институт промышленной собственности) [2]. С глубиной поиска 18 лет обнаружены патен-

ты на различные автоматизированные системы сбора данных. Массив отображенных патентных документов составляет – 10 патентов [3–12]. Возможно, что это связано с определенным интересом к данной тематике и наличию потребности их производства.

Анализируя найденные разработки в ходе информационно-патентного поиска, в сравнении с контроллером «Элсима», можно выделить такие основные плюсы как: энергонезависимая память; микроконтроллерный модуль и GSM/GPRS-модуль выполнены с возможностью обмена данными с удаленным сервером как в режиме реального времени, так и в режиме периодического подключения; возможность просмотра информации по своим расходам воды, а также установление лимитов мощности и пропускной способности. Основными минусами же, являются: отсутствие смс-уведомлений для потребителей; блокировка микроконтроллера при неоднократной попытке доступа с неверным паролем; выполнение функций лишь одного измерительно элемента; неточная передача данных энергоресурсов; низкая скорость передачи информации; сложность разработки и высокая цена; необходимы датчики и счетчики одного потребителя по каждому виду энергоресурса; считывание информации можно осуществить, только подключив клавиатуру и монитор; отсутствие бесперебойного контроля.

Таким образом, недостатки найденных патентов значительно преобладают над их достоинствами. И на данный момент, микроконтроллер «Элсима» является одной из самых оптимальных разработок, включающей в себе массу функциональных возможностей и преимуществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный сайт «Элеси». Программируемый логический контроллер Элсима [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elesy.ru/products/products/elsyima.aspx>, свободный (дата обращения: 25.02.2018).
2. Федеральный институт промышленной собственности. Информационно-поисковая система [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www1.fips.ru/wps/wcm/connect/content_ru/ru/inform_resources/inform_retrieval_system/, свободный (дата обращения: 28.02.2018).
3. Автоматизированная система сбора данных о потреблении энергоресурсов за расчетный период [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www1.fips.ru/fips_serv1/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=77476&TypeFile=html, свободный (дата обращения: 28.02.2018).
4. Автоматизированная система сбора данных о потреблении энергоресурсов и счетчик электрической энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS_Ru#docNumber=13&docId=e5fa98a96e7618e56b4b9ffdc4a3d1f3, свободный (дата обращения: 28.02.2018).

5. Автоматизированная система сбора данных о потреблении и энерго-ресурсов и счетчик электрической энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2595939&TypeFile=html, свободный (дата обращения: 28.02.2018).

6. Автоматизированная информационно-измерительная система учета, контроля и управления энергоресурсами в жилищно-коммунальном хозяйстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=78966&TypeFile=html, свободный (дата обращения: 01.03.2018).

7. Комплекс измерительно-вычислительный для учета и управления энергоресурсами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=18313&TypeFile=html, свободный (дата обращения: 01.03.2018).

8. Система учета коммунальных услуг и счетчик энергоресурсов, используемый в ней [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2247396&TypeFile=html, свободный (дата обращения: 01.03.2018).

9. Структура автоматизированной системы учета расхода энергоресурсов в жилищно-коммунальном хозяйстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=51255&TypeFile=html, свободный (дата обращения: 02.03.2018).

10. Система мониторинга и контроля потребления энергоресурсов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=126165&TypeFile=html, свободный (дата обращения: 02.03.2018).

11. Устройство сбора и передачи данных учета потребленных энергоресурсов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=162964&TypeFile=html, свободный (дата обращения: 03.03.2018).

12. Автоматизированная система для передачи и приема информации о потреблении энергоресурсов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=50699&TypeFile=html, свободный (дата обращения: 03.03.2018).

РАЗРАБОТКА МАКЕТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛЕНОК, НАНЕСЕННЫХ МЕТОДОМ ПРИНТЕРНОЙ ПЕЧАТИ

*Н.С. Труфанова, А.С. Труфанова, студенты
Научный руководитель А.Е. Здрок, ассистент
г. Томск, ТУСУР, каф. КУДР, kundep@mail.ru*

В рамках исследований технологии изготовления СВЧ-элементов методом принтерной печати рассматривается ряд вопросов: отработка режимов печати, для обеспечения требуемых геометрических пара-

метров и формы пленки; исследование режимов отжига, для обеспечения оптимальной внутренней структуры, адгезии и электрических характеристик пленок; измерение и контроль всех вышеперечисленных параметров. Для эффективного проведения работ, а также минимизации погрешности измерений, была поставлена задача о разработке макета платы, позволяющей производить оценку токопроводящих и диэлектрических пленок.

Макет платы должен представлять собой подложку с топологическими примитивами разного типа и назначения. В качестве материала подложки был выбран поликор (Al_2O_3) марки ВК-96 [1]. К преимуществам данного материала следует отнести: высокую смачиваемость, повышенную термо- и износостойкость, низкую теплопроводность, легкость и др. Топология макета будет изготовлена под заказ по традиционной субтрактивной технологии. Измерения электрических характеристик тестовых образцов предлагается производить при помощи зондовой станции – это позволит исключить влияние потерь паяных навесных разъемов на результаты тестирования [2].

В ходе анализа было выявлено, что для исследования электрических характеристик диэлектрических и проводящих пленок достаточно двух элементов: конденсатора и микрополосковой линии передач. В соответствии с этим и заявленными выше требованиями было произведено моделирование топологии макета. Моделирование элементов осуществлялось в программной среде AWR Microwave Office. На рисунке 1 представлен общий вид топологии.

Условно макет содержит 3 основных блока:

- 1) блок для калибровки зонда;
- 2) блок с элементами для измерения значения емкости;
- 3) блок для измерения электрических характеристик микрополосковых линий передач.

Геометрия элементов выбиралась в соответствии с конфигурацией зонда, материалом подложки и параметрами (S_{11} , S_{21} – для проводящих структур, J – для диэлектрических структур), полученными в результате моделирования.

Калибровка зонда осуществляется в трех режимах: измерения на проход, холостой ход и короткое замыкание (рис. 2).

Второй блок содержит элементы типа «конденсатор». Для сравнения результатов и их систематической оценки было смоделировано 4 типа конденсаторов по 16 штук.

Основные геометрические параметры, определяющие свойства конденсатора: зазор между проводником и землей (Z), длина проводника (L) (рис. 3):

- 1) первый тип конденсаторов (C1): $Z - 20$ мкм, $L - 1$ мм;
- 2) второй тип конденсаторов (C2): $Z - 40$ мкм, $L - 1$ мм;
- 3) третий тип конденсаторов (C3): $Z - 20$ мкм, $L - 2$ мм;
- 4) четвертый тип конденсаторов (C4): $Z - 40$ мкм, $L - 2$ мм.

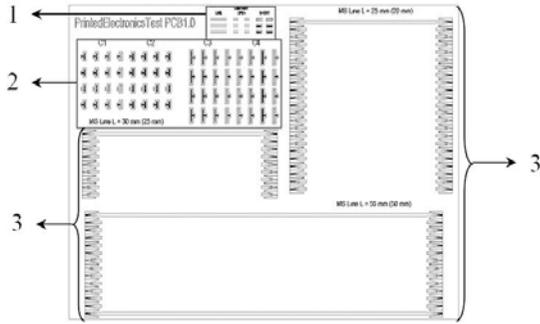


Рис.1. Общий вид топологии макета

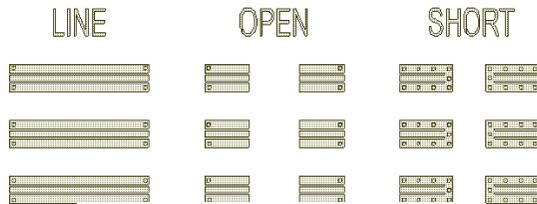


Рис. 2. Первый блок элементов макета

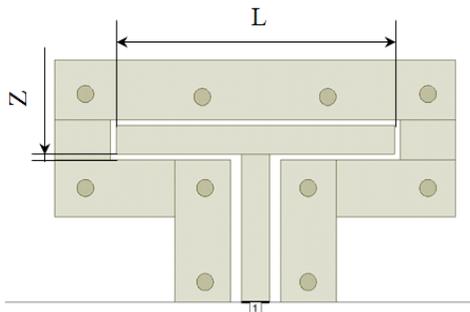


Рис. 3. Модель топологии конденсатора

Для исследования электропроводящих свойств материалов были смоделированы контактные площадки микрополосковых линий длиной 25, 30 и 55 мм. Контактные площадки реализуют переход от компланарной линии к микрополосковой (рис. 4).

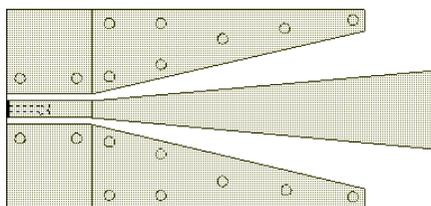


Рис. 4. Модель топологии контактной площадки

Заключение. В результате выполнения работы был получен макет и передан на изготовление в НПФ «Микран». Далее планируется провести тестирование макета на соответствие образца программной модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. ЗАПАДПРИБОР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zapadpribor.com/vk-96/> (дата обращения: 22.10.2017).
2. Зондовая станция – решение для микроэлектронной промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ostec-group.ru/group-ostec/pressroom/news/zondovaya-stantsiya-reshenie-dlya-mikroelektronnoy-promyshlennosti/> (дата обращения: 22.09.2017).

ОБЗОР МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА

Е.С. Семенов, В.С. Поздняков, студенты

*Научный руководитель А.Г. Лоцилов, зав. каф. КУДР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, qwerset@gmail.com*

Технологии регистрации психофизиологических параметров человека переходят на принципиально новый этап развития. Вместе с увеличением вычислительных возможностей и уменьшением энергопотребления электронно-вычислительных машин происходит модернизация широко известных методов измерения параметров состояния человека, которые ранее были реализованы строго в медицинских приборах. Их модернизация позволила производить измерительные приборы медицинского назначения, которые можно использовать в домашних условиях, и бытового назначения, которые созданы с целью повышения качества жизни людей.

Сегодня также реализуются новые методы контроля состояния человека. Медицинская сфера является консервативной вследствие долгого в сравнении с другими сферами процесса внедрения. Поэтому развитие новых методов больше направлено на другие сферы, такие как повышение качества жизни, производство, транспорт, системы

наблюдения, элементы контроля пропускных систем и др. Одним из перспективных методов контроля состояния человека является метод сверхширокополосной биорадиолокации.

Целью данной статьи является выявление ключевых показателей измерительной системы контроля состояния человека-оператора (КСЧО) и подтверждение на соответствие наличия этих показателей в существующих методах измерения психофункционального состояния человека.

Необходимо уточнить перечень основных показателей, которыми должна обладать система КСЧО на сегодняшний день: достоверность результатов, возможность длительного контроля, воздействие на состояние человека-оператора.

Методы КСЧО можно условно разделить на две категории: контактные, требующие крепление датчиков или электродов к тем или иным участкам тела человека, и бесконтактные. К контактным методам диагностики относятся пульсоксиметрия [1, 2], электроэнцефалография (ЭЭГ) [3], метод измерения электродермальной активности (ЭДА) [4]. К бесконтактным методам относятся метод биорадиолокации [5,6], лазерная локация [7], методы видеообработки [8–10] и аудиообработки [11–12]. Классификация методов КСЧО приведена на рис. 1.

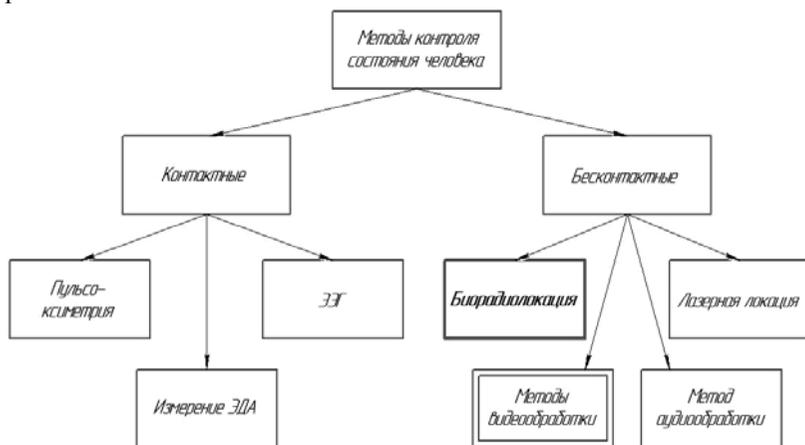


Рис. 1. Классификация методов КСЧО

Метод пульсоксиметрии основан на измерении поглощения светового потока с определенной длиной волны гемоглобином крови. Гемоглобин – животный белок, входящий в состав эритроцитов в крови, главной функцией которого является транспортировка молекул

кислорода. Различают два основных состояния гемоглобина: оксигемоглобин – гемоглобин, полностью связанный с молекулами кислорода; дезоксигемоглобин – гемоглобин, не содержащий кислорода. В зависимости от уровня насыщения кислородом эритроцитов изменяется цвет крови. В результате проводимых измерений можно определить содержание кислорода в крови. На просвет исследуемой ткани также влияет ее толщина. Толщина ткани зависит от изменения объема крови в артериях и артериолах. На основе данной закономерности методом пульсоксиметрии определяется частота сердечных сокращений (ЧСС) и амплитуда пульсовой волны.

Существенными недостатками метода являются:

- отображение уровня SpO_2 с задержкой от 10 с до 90 с;
- неработоспособность при высоких температурах, т.к. тепло ведет к образованию влаги на поверхности кожи. Необходимо менять положение датчика через 20–30 мин.

ЭЭГ – метод исследования работы головного мозга базирующийся на регистрации электрических импульсов, исходящих от его отдельных зон и областей. Одной из основных характеристик ЭЭГ является частота. Известно, что некоторые интервалы частот связаны с сонливостью и бодрствованием, а именно: дельта (0,5–3 Гц), тета (3–7,5 Гц), альфа (7,5–13 Гц), бета 1 (13–20 Гц), бета 2 (20–30 Гц). Состояние бодрствования характеризуется преобладанием частот альфа и бета активности, а состояние сонливости, возрастанием ритмической альфа-активности. Дремота же и засыпание, характеризуются присутствием частот тета-активности. Для состояния сна характерны высокие амплитуды тета и дельта-активности. Метод является перспективным с точки зрения КСЧО, при этом является контактным.

Существенными недостатками метода являются:

- чувствительность к мышечным и глазным движениям;
- измерение производится с помощью электродов, прикреплённых на участки кожи над затылочной и височной областями мозга, что вызовет дискомфорт при работе человека-оператора.

Измерение ЭДА – это метод анализа биоэлектрической реакции, характеризующей изменение электрических свойств кожи. Данный параметр используется как показатель, характеризующий переход человека из активного состояния в состояние психофизиологической релаксации или стадию сна. Данный метод хорошо себя зарекомендовал для контроля бодрствования человека-оператора [4].

Существенным недостатком метода является то, что метод является контактным и может вызвать дискомфорт у человека при измерении.

Биорадиолокация [5] – это метод дистанционного обнаружения и диагностики людей или животных, в том числе за оптически непро-

зрачными препятствиями, основанный на анализе модуляции радиолокационного сигнала колебательными движениями и перемещениями органов биологического объекта. Метод биорадиолокации основан на способе активной радиолокации с пассивным ответом. При КСЧО применяются различные виды модуляции радиолокационного сигнала [6]: непрерывный монохроматический радиосигнал, с линейным изменением частоты радиосигнала, со ступенчатым изменением частоты радиосигнала, импульсные системы с длительностью импульсов, измеряемой сотнями пикосекунд. С помощью данного метода возможно зарегистрировать ЧСС и частоту дыхательных движений (ЧДД).

Существенным недостатком метода является то, что электромагнитное излучение (ЭМИ) может воздействовать на состояние человека-оператора [13]. В России предельно допустимый уровень (ПДУ) по мощности ЭМИ регламентируется в [14].

Лазерная локация (лидарный метод) – дистанционный метод обнаружения и диагностики людей и животных, основанный на лазерном излучении импульсов и последующем приеме и обработке откликов. Данный метод так же, как и радиолокационный имеет высокую разрешающую способность по дальности и точность измерения расстояния до цели. Принцип работы лидара сходен с радиолокатором, но лидарный метод накладывает ряд технических ограничений по параметрам при разработке прибора: в лидарах применяется только активное излучение и последующий анализ переотраженного светового потока; излучаемый световой поток является монохроматическим.

Лазерное излучение, так же как и ЭМИ, воздействует на состояние человека-оператора. В России ПДУ лазерного излучения регламентируется в [14].

Методы видеообработки – это подгруппа методов дистанционного обнаружения и диагностики объектов. Все эти методы направлены на выявление внешних признаков человека, которые характеризуют его психофункциональное состояние. К внешним признакам сейчас относят: учащенное количество морганий, длительность моргания, зевота, явление периодического малого колебания тела, явление изменения оттенка красного цвета кожи и др. На основе анализа внешних признаков и формируется вывод о состоянии человека.

Данный метод интенсивно развивается и не имеет существенных недостатков.

Метод аудиообработки – метод дистанционного обнаружения и диагностики людей и животных, основанный на регистрации и анализе звука, издаваемого в процессе их жизнедеятельности. Регистрируемый звук содержит в себе информацию, характеризующую состояние

человека. При бесконтактном измерении возможно зарегистрировать процесс дыхания и выделить ЧДД. При контактном измерении также возможно выделить ЧСС.

Существенным недостатком метода является то, что для надежной работы системы необходимо условие низкого уровня внешних шумов. Поэтому данный метод имеет большее развитие в области медицины, где одним из аспектов обеспечения условий покоя пациента является и обеспечение тишины.

Выполненный в данной статье обзор по методам КСЧО выявляет наиболее предпочтительные методы для реализации контрольно-измерительной системы состояния человека-оператора. В ходе проведения обзора было выяснено, что наименее предпочтительными методами являются методы контактного измерения. Среди бесконтактных методов наименее предпочтительными является метод аудиообработки. Наиболее предпочтительными методами КСЧО являются методы видеообработки, лазерной локации и биорадиолокации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шурыгин И.А. Мониторинг дыхания: пульсоксиметрия, капнография, оксиметрия. – СПб.: Невский Диалект; М.: Изд-во «БИНОМ», 2000. – 301 с.
2. Каков С.В. Пульсометрия. / С.В. Каков, В.П. Мулер // Вестник новых медицинских технологий. Обзор. – Т. XIII, № 1. – Тула: Тул. гос. ун-т, 2006. – С. 171–172.
3. Изнак А.Ф., Чайнов Н.В. Способ контроля выхода человека-оператора из контура управления. – Патент России № 2539004. – 2013.
4. Телеметрическая система контроля бодрствования машиниста ТСКБМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.neurocom.ru/ru2/rail/tskbm.html> (дата обращения: 27.02.2018).
5. Ultrawideband Radar Technology / Ed. dy James D. Taylor. – Boca Raton, London; New York, Washington D.C.: CRC Press, 2000. – 424 p.
6. Анищенко Л.Н. Разработка технологии и программно-аппаратного комплекса биорадиолокационного мониторинга двигательной активности, дыхания и пульса: дис. ... канд. техн. наук. – МГТУ им. Баумана, М., 2009.
7. Алферов Н.Е., Звягинцев А.Ю. Устройство для бесконтактного контроля медикобиологических показателей // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – С. 33–36.
8. Wu H-Y. Video Magnification for Revealing Subtle Changes in the World / H-Y. Wu, M. Rubinstein, E. Shih, J. Guttag, F. Durand, W. Freeman. – MIT CSAIL, Quanta Research Cambridge, Inc. – 2012. – 8 p.
9. Wadhwa N. Phase-Based Video Motion Processing / N. Wadhwa, M. Rubinstein, F. Durand, W. Freeman. – MIT CSAIL, Quanta Research Cambridge, Inc. – 2013. – 10 p.
10. Asad U., Sameed A., Lubna S., Nabihha F. Real Time Driver's Drowsiness Detection System Based on Eye Conditions. – International Journal of Scientific & Engineering Research. – March 2015. – Vol. 6, Is. 3. – P. 125–131.

11. Глазова А.Ю. Система и метод мониторинга пациентов с хроническими обструктивными заболеваниями легких: дис. ... канд. техн. наук. – ЛЭТИ им. В.И. Ульянова, СПб, 2017.

12. Савельев В.В. Аппаратная реализация комплекса диагностики остановки дыхания во время сна / В.В. Савельев, Н.В. Ивахно, А.М. Мизарев // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013. – Вып. 9. – Ч. 2. – С. 293–298.

13. Aires Technologies [Электронный ресурс]. – Влияние электромагнитного излучения на здоровье человека. – Режим доступа: <http://airestech.ru/media/em-smog> (дата обращения: 2.03.2018).

14. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ). Санитарные правила и нормы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200001537> (дата обращения: 2.03.2018.).

15. СанПиН 5804. Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров. – М.: Изд-во стандартов, 1991 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200029357> (дата обращения: 2.03.2018.).

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКИХ УДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ЗАДАЧЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФЕКТНОСТИ БЕТОНА

А.Д. Другова, М.В. Ратников, студенты

*Научный руководитель С.А. Артищев, м.н.с. СКБ «Смена», к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. РЗИ, 824tusur@mail.ru*

*Проект ГПО РЗИ-1603 «Разработка устройства для контроля
дефектности бетона»*

При строительстве и эксплуатации бетонных сооружений существует необходимость контроля их качества. В данной работе рассматривается механо-электрический метод контроля. Данный метод заключается в том, что на образец воздействуют коротким механическим ударом, при котором возникает сферическая акустическая волна. Под действием механических напряжений наблюдается возникновение пьезоэлектрического эффекта в пьезосодержащих материалах, следствием чего, является эмиссия электромагнитного поля. По спектральному анализу электромагнитного отклика устанавливается наличие дефектов в исследуемом образце [1].

В рамках проекта ГПО разрабатывается прибор, реализующий описанный метод контроля. На данном этапе работы исследуется зависимость силы и времени удара от параметров электромагнитного соленоида [2].

После разработки макета ударного механизма была отработана методика определения его силы удара. Расчет силы удара стержня по основанию производится по второму закону Ньютона:

$$F = ma, \quad (1)$$

где m – масса стержня; a – ускорение стержня.

Для определения ускорения движения стержня необходимо знать скорость его движения, как минимум в двух точках. Для измерения времени движения положение стержня регистрируется с помощью оптопар [2]. Исходя из этого можно рассчитать скорость стержня в момент удара:

$$V = \frac{2S}{\Delta t}. \quad (2)$$

Учитывая, что полный ход стержня составляет $S = 10$ мм осуществляется за время $\Delta t = 3$ см, скорость стержня в момент удара составляет около 6 м/с. Тогда сила удара согласно формуле (1) $F = 20$ Н.

На рис. 1 представлена зависимость силы удара от массы стержня.

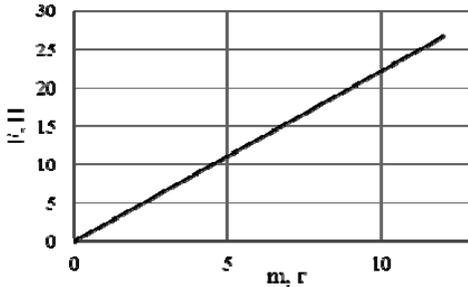


Рис. 1. Зависимость силы удара от массы стержня

Для увеличения силы удара следует увеличивать массу стержня. Однако при этом энергия магнитного поля соленоида переходит в кинетическую энергию стержня и потенциальную энергию пружины:

$$W = E_k + E_{пр}. \quad (3)$$

В связи с этим необходимо рассчитать параметры соленоида, который обеспечивает поле достаточной энергии. Индуктивность соленоида выражается следующим образом:

$$L = \frac{\mu_0 \mu N^2 S}{\lambda}, \quad (4)$$

где μ_0 – магнитная проницаемость вакуума; N – число витков; S – площадь поперечного сечения соленоида; λ – длина соленоида.

Энергия магнитного поля катушки определяется по формуле:

$$W = \frac{\mu \mu_0 n^2 \lambda S \left(\frac{Us}{\rho l} \right)^2}{2}. \quad (5)$$

В результате расчетов получены следующие значения $L = 3,4$ мГн, $W = 244$ кДж.

Исходя из формулы (4) можно рассчитать количество витков $N = 772$

$$N = \sqrt{\frac{L\lambda}{\mu_0 S}} \quad (6)$$

В результате проведенных расчетов можно сделать вывод, что энергия магнитного потока напрямую зависит от геометрических параметров катушки, в частности от толщины провода и диаметра основания, на которое производится намотка провода. По рассчитанным значениям были изготовлены катушки индуктивности и проведено исследование зависимости длительности удара при изменении номинала индуктивности. На рис. 2 представлена полученная зависимость.

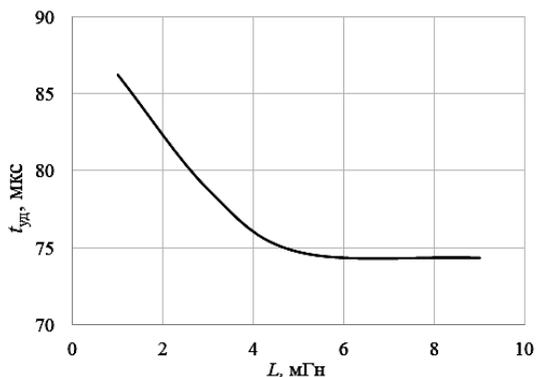


Рис. 2. Зависимость длительности удара от индуктивности соленоида

Из рис. 2 видно, что достигнута длительность удара порядка 75 мкс. Согласно [3] данный параметр следует довести до 60 мкс. Однако достигнуть этого за счет увеличения индуктивности не удастся. Увеличение количества витков приводит к возрастанию активного сопротивления, а, следовательно, к уменьшению тока соленоида и энергии магнитного поля. По этой причине необходимо выбирать другие методы уменьшения длительности удара.

На следующем этапе работы предполагается исследовать зависимость длительности удара от материала стержня и от его массы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фурса Т.В., Осипов К.Ю., Данн Д.Д. Разработка неразрушающего метода контроля прочности бетона с дефектной структурой на основе явления механо-электрических преобразований // Дефектоскопия. – 2011. – №5. – С. 39–47.

2. Артищев С.А., Другова А.Д., Лошилов А.Г. Установка для измерения параметров механических ударных воздействий в задаче диагностики изделий из бетона // Электронные средства и системы управления (ЭССУ): Матер. XIII Междунар. научно-практ. конф., 29 нояб. – 1 дек. 2017 г. – Т. 1. – С. 154–156.

3. Fursa T.V., Osipov K.Yu., Lyukshin B.A., Utsyn G.E. The development of a method for crack-depth estimation in concrete by the electric response parameters to pulse mechanical excitation // Meas. Sci. Technol. – 2014. – Vol. 25, No. 5. – 055605 (10 p).

ПОДСЕКЦИЯ 2.3

ФИЗИЧЕСКАЯ И ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

*Председатель – Троян П.Е., зав. каф. ФЭ, проректор по УР,
д.т.н., проф.
зам. председателя – Смирнов С.В., проф. каф. ФЭ, д.т.н.*

ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА НА ПАРАМЕТРЫ ПЛАЗМЫ ВБЛИЗИ ИЗОЛИРОВАННОГО КОЛЛЕКТОРА

П.В. Алексеевский

*Научный руководитель В.А. Бурдовицин, проф. каф. физики, д.т.н.
Проект ГПО ЭП-1201 «Генерация плазменными катодами
электронных пучков и их применение»
г. Томск, ТУСУР, alekseevski@gmail.com*

Параметры плазмы, создаваемой при распространении электронного пучка в газе, определяются током и энергией пучка, а также давлением и родом газа [1]. Ситуация изменяется при наличии изолированного коллектора, что имеет место, например, при обработке диэлектрических материалов. Цель настоящей работы в установлении роли коллектора в формировании пучковой плазмы. Эксперименты проводились на установке, схематически представленной на рис. 1. На верхнем фланце вакуумной камеры 1 размещен плазменный электронный источник 2 с фокусирующей системой 3. Электронный пучок 4 попадал на коллектор 5, изготовленный из нержавеющей стали и размещенный на диэлектрической подставке 6. Потенциал и ток пучка измерялись приборами V и mA. Параметры плазмы измерялись одиночным зондом 7. В качестве рабочего газа использовались аргон и кислород.

Результаты измерений, представленные на рис. 2, свидетельствуют о монотонной зависимости $\varphi(U_a)$, что наблюдалось и ранее, и наличии максимума на кривых $n(U_a)$. Сопоставление обеих зависимостей позволяет заметить, что максимум концентрации приходится на значения U_a , при которых φ находится в интервале 200–400 В. Это подтверждает тезис о вкладе вторичных электронов в создание пучковой плазмы [2], поскольку потенциал φ соответствует энергии, приоб-

ретаемой вторичными электронами в слое, отделяющем коллектор от плазмы. Указанные значения приходятся на максимум сечения ионизации, что и объясняет наличие максимума на кривых $n(U_a)$.

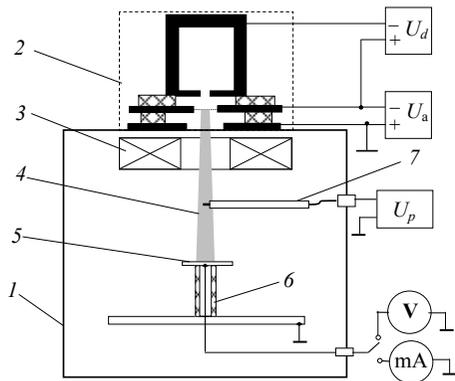


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

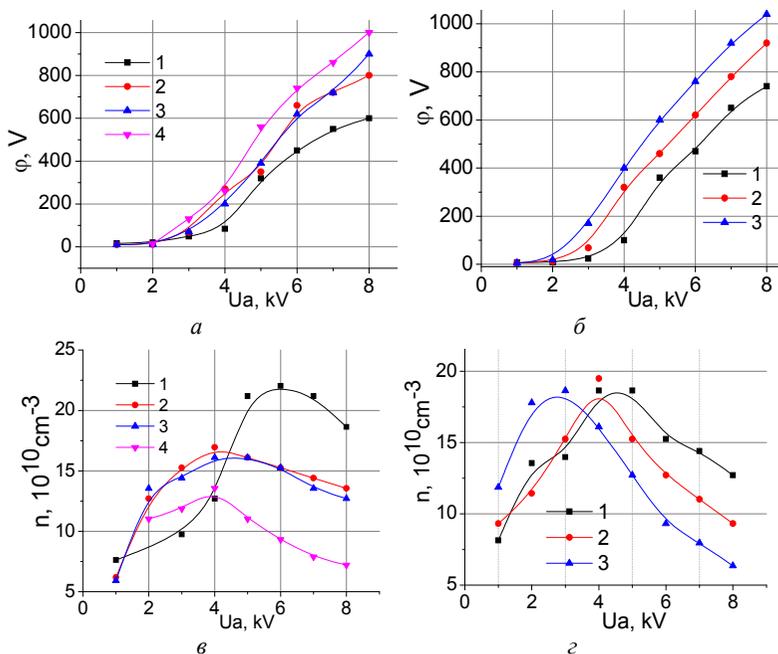


Рис. 2. Потенциал ϕ (а, б) и концентрация n (в, г) пучковой плазмы как функция ускоряющего напряжения U_a в кислороде (а, в) и аргоне (б, г).

Ток пучка 5 мА. Давление 1 – 2 Па; 2 – 1,7 Па; 3 – 1,5 Па; 4 – 1,3 Па

ЛИТЕРАТУРА

1. Lock H., Fernsler R.F., Slinker S.P., Singer I.L., Walton S.G. Global model for plasmas generated by electron beams in low-pressure nitrogen // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2014. – Vol. 47, No. 42. – P. 425206.

2. Zolotukhin D.B., Burdovitsin V.A., Oks E.M. On the role of secondary electrons in beam plasma generation inside a dielectric flask by fore-vacuum plasma-cathode electron source // Physics of Plasmas. – 2017. – Vol. 24, No. 9. – P. 093502.

ПРОБЛЕМЫ МЕТАЛЛИЗАЦИИ С СУБМИКРОННЫМИ РАЗМЕРАМИ

С.А. Алиев, студент

*Научный руководитель Т.И. Данилина, проф. каф. ФЭ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ФЭ, samir96.aliev@gmail.com*

В современном мире интегральные схемы лежат в основе любого компьютеризованного устройства. Так как с каждым днём растут запросы к вычислительным мощностям ЭВМ, то необходимо увеличивать мощность устройств. Одним из решений этой задачи является уменьшение размеров сверхбольших интегральных схем (СБИС). Однако при уменьшении размеров самих элементов необходимо уменьшать размеры металлизации.

В данной работе рассмотрено влияние уменьшения размеров металлизации на RC-задержку сигнала. Целью работы является исследование RC-задержки распространения сигнала, которая происходит за счет металлизации.

На рис. 1 показан фрагмент СБИС двухуровневой металлизации из алюминия. Металлизация представляет собой микрополоски обладающие шириной b , толщиной d , длиной l и расположенные на диэлектрике с толщиной $d_{\text{ок}}$. Размеры металлизации диктуются топологической нормой СБИС и приводятся в международной карте (ITRS).

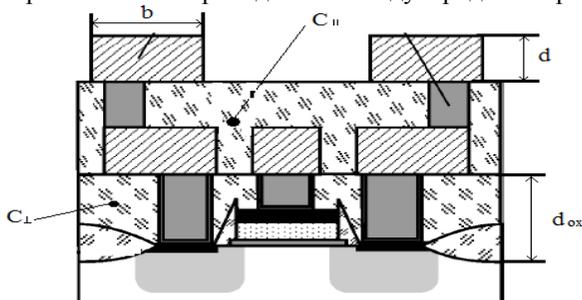


Рис. 1. Фрагмент СБИС с алюминиевой двухуровневой металлизацией

Между проводником и подложкой образуется поперечная емкость. Если учесть, что микрополосков в СБИС несколько уровней и пространство между ними заполнено диэлектриком, то соседние микрополоски образуют параллельную емкость.

В задержку сигнала вносят вклад сопротивление металлизации и емкость. Сопротивление на постоянном токе описывается следующим уравнением :

$$R = \left(\frac{\rho_v}{d \cdot b} = \rho_s \cdot \frac{l}{b} \right),$$

где ρ_v – удельное объемное сопротивление алюминия; ρ_s – удельное поверхностное сопротивление алюминия; b , l , d – ширина, длина и толщина проводника соответственно.

В работе была исследована металлизация на основе пленок алюминия с субмикронной толщиной в диапазоне 25–100 нм. Удельное поверхностное сопротивление измерялось 4-х зондовым методом и затем рассчитывалось удельное объемное сопротивление [1]. При уменьшении толщины удельное поверхностное сопротивление возрастает в 3,5 раза. Используя полученные экспериментальные результаты по сопротивлению металлизации в зависимости от толщины было рассчитано сопротивление R для единичной длины l с учетом топологической нормы СБИС.

Суммарную ёмкость, накапливаемую на первом уровне металлизации, рассчитывали по модели Элмора, рассмотренной в работе [2].

$$C_{\Sigma} = (C_{\perp} + C_{\parallel}) = \left(\frac{b \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0}{d_{ox}} + \frac{2\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0}{\ln\left(2 + \frac{4 \cdot d_{ox}}{d}\right)} \right) \cdot l,$$

где C_{\perp} – ёмкость плоского конденсатора, образованного микрополосками и подложкой; C_{\parallel} – ёмкость конденсатора, образованного боковыми стенками микрополосков; ε – диэлектрическая проницаемость диэлектрика SiO_2 ; d_{ox} – толщина диэлектрика.

Время RC -задержки t с использованием модели Элмора рассчитывается по формуле:

$$t := R \cdot \frac{C_{\Sigma}}{2} + (R_1 + R) \cdot \left(\frac{C_{\Sigma}}{2} + C_H \right).$$

Так как в модели Элмора присутствуют такие элементы, как сопротивление источника R_1 и ёмкость нагрузки C_H , то необходимо сразу уточнить, что в расчетах используется источник F04 со следующими параметрами [2]

$$R_1 = 3000 \text{ Ом}; \quad C_H = 15 \text{ фФ}.$$

Сопротивление металлизации рассчитывалось в диапазоне субмикронных толщин (25–100) нм и для топологических норм СБИС с шириной проводников $b = (27–107)$ нм и для длины $l = 1$ мм. Зависимость времени задержки от топологической нормы представлена на рис. 2.

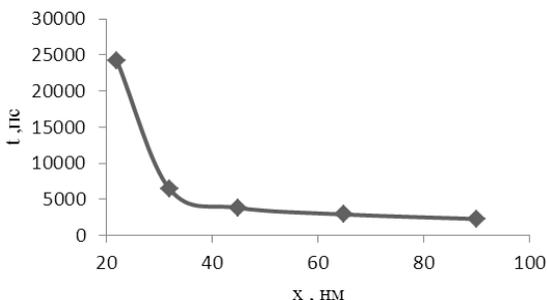


Рис. 2. Зависимость RC -задержки от топологической нормы

Время задержки стремительно возрастает в 10,5 раз при одновременном уменьшении толщины металлизации, ширины проводников и толщины диэлектрика, что следует учитывать при разработке СБИС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев С.А. Проблемы металлизации с субмикронными размерами: Междунар. науч.-техн. конф. «Научная сессия ТУСУР–2017». – Режим доступа: https://storage.tusur.ru/files/61046/2017_2.pdf
2. Arabi T.R., Murphy A.T., Sarkar T.K. et al. On the Modeling of Conductor and Substrate Losses in Multiconductor, Multidielectric Transmission Line Systems.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРПУСА СВЧ-ТРАНЗИСТОРА В ВИДЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СХЕМЫ

Т.Ю. Сидорюк, Д.В. Билевич, А.А. Попов, студенты

*Научный руководитель А.С. Сальников, доцент каф. ФЭ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, skysidtim@gmail.com*

В настоящее время при разработке схем с мощными транзисторами, необходимо учитывать влияние корпуса на частотные характеристики. Корпуса, доступные при производстве не всегда имеют встроенные в САПР модели. Таким образом существует задача создания модели корпуса в виде эквивалентной схемы, которая будет описывать различные виды корпусов. Некоторые результаты по представлению корпуса в виде эквивалентной схемы представлены в

статьях [1–3]. Проблема универсальной модели корпуса актуальна и на сегодняшний день.

В данной работе проводилась разработка модели корпуса СВЧ-транзистора в виде эквивалентной схемы, которая описывает его частотные характеристики. В предыдущих работах [4] было проведено электромагнитное моделирование корпуса и получены его частотные характеристики.

В качестве первого приближения использовалась простая эквивалентная схема, которая описывает характеристики корпуса на низких частотах до 4 ГГц. Путем аналитической экстракции параметров были получены начальные значения элементов. Затем в схему поочередно добавлялись элементы, так как начальная схема не могла описать весь интересующий частотный диапазон. Значения этих элементов определялись с помощью оптимизации. Таким образом была получена эквивалентная схема (рис. 1), которая хорошо описывает частотные характеристики корпуса в интересующем диапазоне. Результаты моделирования представлены на рис. 2. Значения элементов представлены в таблице 1.

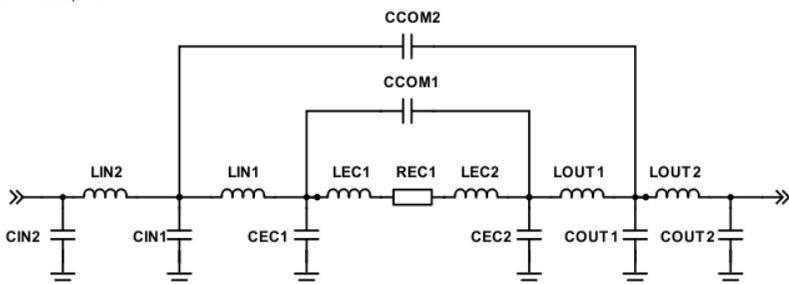


Рис. 1. Эквивалентная схема корпуса транзистора

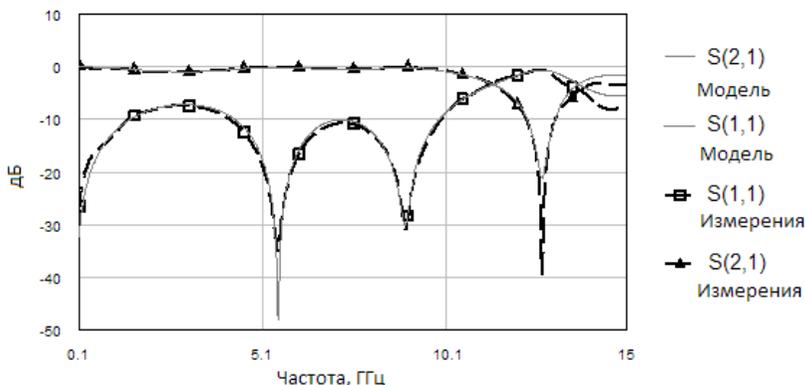


Рис. 2. Частотные характеристики корпуса и модели

Результаты моделирования показывают хорошее совпадение измеренных характеристик и характеристик, полученных моделированием эквивалентной схемы. Отсюда можно сделать вывод, что данный подход конструирования схемы можно использовать для моделирования корпуса. Также, значения элементов, представленные в таблице имеют адекватный порядок.

Значения элементов эквивалентной схемы

Параметр	Значение	Параметр	Значение	Параметр	Значение
Rec1	0,201 Ом	Ccom1	1,356 пФ	Lout2	0,459 нГн
Cin1	0,507 пФ	Ccom2	0,214 пФ	Lout1	0,607 нГн
Cin2	0,298 пФ	Lec1	0,068 нГн	Lin2	0,577 нГн
Cout1	0,346 пФ	Lec2	0,063 нГн	Cec2	0,077 пФ
Cout2	0,156 пФ	Lin1	0,799 нГн	Cec1	1,207 пФ

В таблице приведены значения элементов эквивалентной схемы, а не параметры корпуса. Схема не является корпусом, конструкция корпуса имела значение в предыдущем эксперименте, на который проставлена ссылка [4].

Полученные результаты позволяют утверждать, что данная схема способна адекватно описывать параметры рассеяния СВЧ-корпуса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Flucke J, Schmuckle F., Heinrich W., Rudolph M. An Accurate Package Model for 60W GaN PowerTransistors // European Microwave Integrated Circuits Conference (EuMIC). – Rome, 2009. – P. 152–155.
2. Heinrich W., Rudolph M. Assessment of power-transistor package models: distributed versus lumped approach // The 5th European Microwave Integrated Circuits Conference. – Paris, 2010. – P. 86–89.
3. Halder S., Kharabi F., Howle T. et al. Broadband lumped package modeling for scaling multi-cell GaN HEMT power devices. // 79th ARFTG Microwave Measurement Conference. – 2012, Montreal. – QC. – P. 1–3.
4. Сидорюк Т.Ю., Попов А.А., Билевич Д.В., Сальников А.С. Моделирование корпуса СВЧ-транзистора // Матер. Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных «Электронные средства и системы управления», Томск, 29 ноября – 1 декабря 2017 г. – Томск: В-Спектр, 2017. Ч. 1. – С. 89–91.

ПОДСЕКЦИЯ 2.4

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Председатель – **Михальченко Г.Я.**, директор НИИ ПрЭ,
д.т.н., проф.;

зам. председателя – **Семёнов В.Д.**, проф. каф. ПрЭ, к.т.н.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ОДНОФАЗНОГО МОСТОВОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

У. Лхагвасурэн, студент каф. ПрЭ

Научный руководитель *А.Г. Зубакин, доцент каф. ПрЭ, к.т.н.*
г. Томск, ТУСУР, anatolij.zubakin@mail.ru

Повышение требований к использованию питающей сети определяет интерес к оценке коэффициента мощности типовой схемы однофазного выпрямителя с LC-фильтром:

$$K_m = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{P}{U_c \cdot I_c},$$

где P , Q – активная и реактивная составляющие потребляемой мощности из питающей сети.

Исследование схемы однофазного мостового выпрямителя проводится в среде моделирования Lt Spice (рис. 1.)

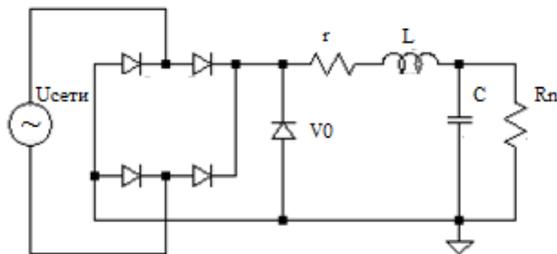


Рис. 1. Схема Греча с LC-фильтром

Результаты исследования представлены в виде зависимостей:
 $U_n = F(A, L)$, $I_n = F(A, L)$, $K_m = F(A, L)$, где $A = \pi\gamma/2R_n$.

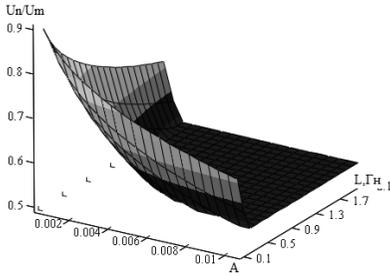


Рис. 2. Нагрузочная характеристика

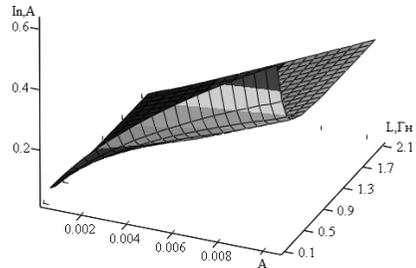


Рис. 3. Ток в нагрузке выпрямителя

Из графика рис. 2 нагрузочной характеристики следует, что:

- есть два участка с большим и невысоким изменением напряжения, соответствующие емкостному и индуктивному характеру нагрузки;
- с уменьшением тока нагрузки напряжение растет до амплитудного напряжения – U_m ;
- с увеличением индуктивности сглаживающего фильтра уменьшается критическое значение тока нагрузки, соответствующее переходу от режима прерывистого тока (емкостного) к непрерывному (индуктивному).

Полученные результаты, соответствуют известным положениям [1, 2].

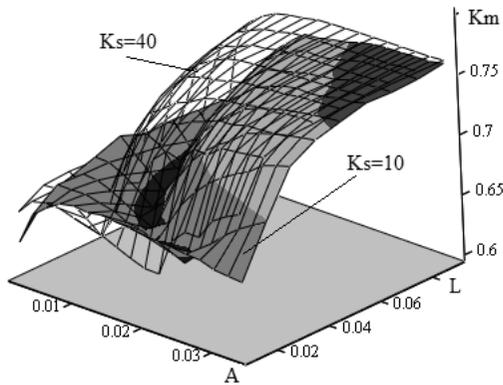


Рис. 3

Из графика рис. 3 для коэффициента мощности видно, что:

- есть два участка с большим и невысоким изменением коэффициента мощности, соответствующие емкостному и индуктивному характеру нагрузки;
- с увеличением тока нагрузки K_m растет;

- при монотонном изменении нагрузочной характеристики и тока нагрузки на поверхности графика в области с емкостной реакцией нагрузки появляется излом;
- с увеличением индуктивности сглаживающего фильтра уменьшается критическое значение тока нагрузки, соответствующее переходу от режима прерывистого тока (емкостного) к непрерывному (индуктивному), линия излома смещается в сторону холостого хода.

При монотонном изменении нагрузочной характеристики и тока нагрузки (рис. 1, 2) появление подобного излома требует дополнительного изучения, выявления причин.

С этой целью была увеличена продолжительность испытаний. С уменьшением тока нагрузки увеличивается длительность переходного процесса. Возможной причиной могла быть методическая погрешность, обусловленная недостаточно большим временем на установление переходного процесса. При увеличении длительности эксперимента значение $K_m = F(I_n, L)$ не изменилось, значит, эта гипотеза не подтверждается.

Другое предположение связано с возможным резонансом LC-фильтра. В момент резонанса реактивности компенсируют друг, друга контур представляется только активным сопротивлением, увеличивается коэффициент мощности.

Для проверки этой гипотезы увеличим коэффициент сглаживания фильтра, соответственно уменьшается резонансная частота.

На рис. 3 поверхность с большим значением коэффициент сглаживания показана сеткой. При той же величине волнового сопротивления фильтра с увеличением коэффициента сглаживания произошел сдвиг поверхности в сторону холостого хода. Таким образом, гипотеза о связи излома с резонансными свойствами LC-фильтра подтверждается.

Работа по изучению обнаруженного эффекта продолжается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обрусник В.П., Шадрин Г.А. Стабилизированные источники питания радиоэлектронных устройств. – Томск: Том. гос.ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2011. – 280 с.
2. Семенов В.Д., Мишуоров В.С. Основы преобразовательной техники учеб. пособие. – Томск: Том. гос.ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2002. – 132 с.

УТОЧНЕНИЕ ГРАНИЦЫ СУЩЕСТВОВАНИЯ ПЕРВОЙ МОДЕЛИ ВЫПРЯМИТЕЛЯ

М. Кан, студент

*Научный руководитель А.Г. Зубакин, доцент каф. ПрЭ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, anatoij.zubakin@mail.ru*

В [1, 2] рассматриваются две модели выпрямителя с емкостной нагрузкой. В первой ток заряда конденсатора фильтра ограничивается активным и индуктивным сопротивлением фазы трансформатора, сопротивлением диодов. Форма тока определена авторами симметричной.

Для второй модели с безтрансформаторным выпрямителем «ток ограничивается емкостным сопротивлением, поскольку сопротивление фазы и динамическое сопротивление диодов малы». Форма тока в диодах имеет ассиметричный характер с резким нарастанием тока на начальном этапе (рис. 1).

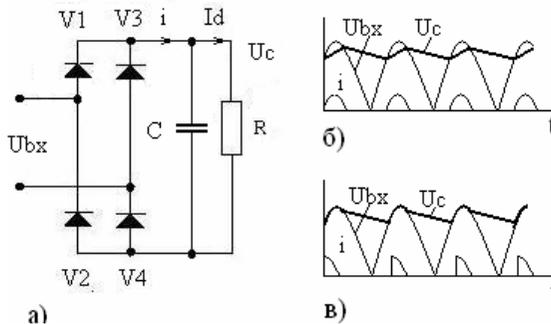


Рис. 1. Схема безтрансформаторного выпрямителя – а; форма напряжения и тока для первой модели – б; для второй модели – в

Границу существования первой модели в [1] определяется критерием 1

$$r/R > 10/(R m \omega C)^2. \quad (1)$$

В [2] модель дает лучшие результаты для без трансформаторных выпрямителей – критерий 2:

$$r/R > 4/(R m \omega C)^2. \quad (2)$$

Дополнительно к этим условиям добавляется ограничение «по допустимой реактивной мощности выходного фильтра на уровне 5–10% от U_d ».

С целью уточнения границы существования первой модели, оценки универсальности приведенных выше критериев проведено исследование выпрямителя с емкостной нагрузкой.

Особенность расчета выпрямителя с емкостной нагрузкой в том, что формирование напряжения на нагрузке происходит в два этапа – заряда и разряда конденсатора фильтра

$$\begin{array}{l} \text{при заряде} \\ \left\{ \begin{array}{l} ir + u_C = u(t) \\ i = C \frac{du_C}{dt} + \frac{u_C}{R} \end{array} \right. \end{array} \quad \text{и} \quad \begin{array}{l} \text{при разряде} \\ \left\{ \begin{array}{l} 0 = C \frac{du_C}{dt} + \frac{u_C}{R} \end{array} \right. \end{array}$$

В этих выражениях R, r – сопротивления нагрузки и фазы выпрямителя, C – конденсатор фильтра.

Результат решения системы уравнений представлен на рис. 2. На рисунке показано изменение нагрузочной характеристики выпрямителя $U_d = f(A, r/xC)$, где xC – емкостное сопротивление. Из графика видно, что нагрузочная характеристика почти не зависит от емкости конденсатора и только при существенном уменьшении ее величины и тока нагрузки становится заметным ее влияние на нагрузочную характеристику

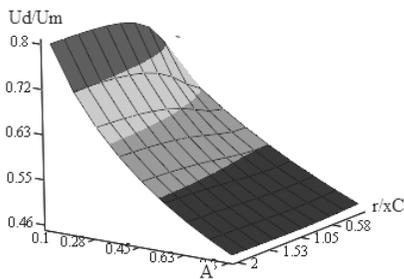


Рис. 2. Нагрузочная характеристика

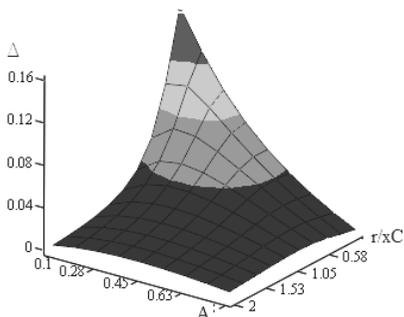


Рис. 3. $\Delta = (U_d - U_{C \text{ идеал}}) / U_{C \text{ идеал}}$

При выполнении условия (1), (2) можно пренебречь влиянием конденсатора фильтра на величину выпрямленного напряжения и тем самым существенно упростить, облегчить процедуру расчета.

Выпрямленное напряжение в этом идеализированном случае

$$U_{C \text{ идеал}} = U_{2m} \cos \theta, \quad (3)$$

где угол отсечки θ находится из решения трансцендентного уравнения: $\text{tg} \theta - \theta = \pi r / (m R) = A$, где m – фазность схемы выпрямителя.

Разность напряжений $U_d - U_{C \text{ идеал}}$ с увеличением емкости конденсатора и тока в нагрузке уменьшается (рис. 3).

На рис. 4 и 5 белым цветом определена область существования идеализированной модели выпрямителя по критерию 1 при погрешности отображения меньше пяти процентов. Черным цветом определена область с погрешностью отображения больше пяти процентов.

На рисунке достаточно заметна область, в которой погрешность отображения меньше пяти процентов, но которая не входит в область существования модели по критерию 1. С ростом r/xC и увеличением фазности выпрямителя она расширяется.

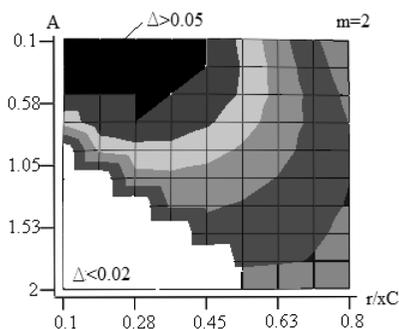


Рис. 4

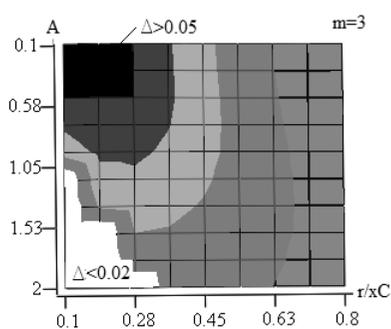


Рис. 5

Таким образом, критерий 1 не является универсальным и существенно ограничивает область применения идеализированной модели.

В данной работе предлагается использовать другой критерий для определения области существования первой модели: $r/xC = r m \omega C > 0,45$ при $m = 2$ и $r/xC > 0,28$ при $m = 3$.

Критерий определяется отношением активного сопротивления потерь выпрямителя к емкостному сопротивлению нагрузки, имеет достаточно понятный физический смысл — определяет коэффициент сглаживания RC-фильтра.

При той же погрешности отображения, меньше пяти процентов, по критерию (4) область существования модели увеличивается, что позволяет сделать вывод о предпочтительности его использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов-Цыганов А.И. Электропреобразовательные устройства РЭС: учеб. для вузов по спец. «Радиотехника». — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1991. — 272 с.
2. Обрусник В.П., Шадрин Г.А. Стабилизированные источники питания радиоэлектронных устройств. — Томск: Том. гос. ун-т систем упр. и радиозлектроники, 2011. — 280 с.

ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОСТОЯННОГО ТОКА ШПИНДЕЛЯ НАМОТОЧНОГО СТАНКА С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

В.В. Емельянов, магистрант

Научные руководители В.Д. Семёнов, проф., к.т.н.,

В.А. Кабиров, зав. лаб. ГПО

Томск, ТУСУР, каф. ПрЭ, nefxxx@yandex.ru

Современный автоматизированный электропривод представляет собой сложную электромеханическую систему, содержащую различные по своей природе и назначению элементы: электрические машины, преобразователи электрической энергии, усилители, коммутационные аппараты, различные механические устройства. Основным элементом электропривода является электрический двигатель, поэтому основные его свойства – надёжность и срок службы, высокий к.п.д., удобство управления, быстродействие и т.д. – во многом характеризуют электропривод в целом [1].

В данной работе описана разработка структурной схемы намоточного станка, на основе электродвигателя постоянного тока для полуавтоматической открытой намотки многослойных катушек электромагнитных элементов на круглые или прямоугольные каркасы обмоточным проводом.

Конструкция данного устройства производит вращательные движения самого каркаса и оправки, что позволяет равномерно размещать провод по всей конструкции обмотки. Также намоточный станок регистрирует число витков, способен натягивать провода, соответствующие пределам упругой деформации [2].

Структурная схема разрабатываемого устройства представлена на рис. 1.

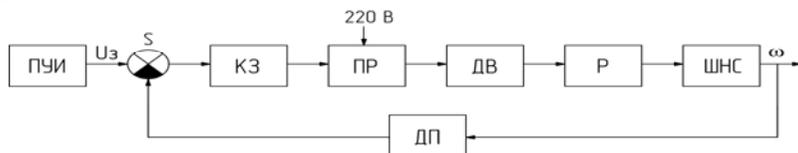


Рис. 1. Структурная схема намоточного станка

Данная схема устройства состоит из корректирующего звена (КЗ), реверсивного понижающего преобразователя (ПР), электродвигателя постоянного тока (ДВ), редуктора (Р), шпинделя намоточного станка (ШНС), играющего роль объекта управления и датчика положения (ДП) для замыкания отрицательной обратной связи. На входе U_z – задающее напряжение, вырабатываемое в пульте управления и

индикации (ПУИ); напряжение сети (220 В, 50 Гц) подаётся на силовой вход преобразователя (ПР), а на выходе ω – угловая скорость вращения шпинделя намоточного станка.

В качестве двигателя, исходя из экономических соображений, выбран недорогой отечественный электродвигатель производства «БелАвтоКомплект» 19.3730. Технические характеристики данного двигателя приведены в таблице.

Параметры электропривода

P (Вт)	U (В)	I (А)	N (об/мин)
40	12	6.5	3000

Необходимое напряжение двигателя составляет 12 В, а напряжение питающей сети 220 В, поэтому в качестве преобразователя напряжения был выбран непосредственный понижающий преобразователь с реверсом. Шпиндель намоточного станка должен вращаться с постоянной скоростью в соответствии с заданием. Датчик положения считывает количество оборотов или угловую скорость (ω), преобразуя полученные данные в напряжение, которое сравнивается в сумматоре S , и стабилизирует скорость вращения электродвигателя.

Система управления устройством реализует пять режимов работы: начало намотки, редактирование параметров, намотка, торможение и окончание намотки.

В последующей разработке данного устройства будут получены передаточные функции, а структура корректирующего звена будет определена после того, как будет произведён анализ частотных характеристик разомкнутой системы в среде математического моделирования Matlab.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрущенко В.А. Следящие системы автоматизированного сборочного оборудования. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1979. – 246 с.
2. Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Теория электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 496 с.

МОДУЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В ТРАНСФОРМАТОРАХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Д.Е. Филатов, студент

Научный руководитель Н.С. Легостаев, проф. каф. ПрЭ, к.т.н.

г. Томск, каф. ПрЭ, ТУСУР, lns@ie.tusur.ru

В преобразователях электрической энергии, построенных на базе современных электронных компонентов, включая силовые интегральные модули, трансформаторы остаются наиболее значимыми.

Любой трансформатор, особенно высокочастотный, представляет собой многочастотную резонансную систему. Наличие индуктивности первичной обмотки, а также индуктивностей рассеяния и паразитных емкостей приводят к колебательным процессам на фронтах и срезах импульсов, т.е. к искажению формы импульсов – на фронтах и срезах импульсов присутствуют ВЧ-колебания не только основной частоты (частоты преобразования), но и высшие гармонические составляющие [1].

Основные параметры трансформатора, такие как индуктивность первичной обмотки, а также активные сопротивления первичной и вторичной обмоток определяются достаточно точно, а паразитные параметры описываются приближенными формулами. При переходе к повышенным и высоким частотам преобразования (десятки и сотни килогерц) с учетом применения быстродействующих транзисторов, особенно MOSFET-транзисторов, обострился интерес к минимизации паразитных параметров силовых трансформаторов. Это связано, в первую очередь, со стремлением снизить динамические потери мощности в силовых ключах, а также с желанием уменьшить уровень создаваемых электромагнитных помех. Следует отметить, что до настоящего времени поиск формул определения паразитных параметров высокочастотных трансформаторов является предметом научных исследований.

Наряду с проблемой определения паразитных параметров не менее важным является решение задачи определения потерь мощности в трансформаторах высокочастотных преобразователей, особенно в условиях жестких требований к эффективности преобразования электрической энергии.

Потери мощности трансформаторов включают в себя потери в обмотках и в сердечнике. Потери в сердечнике определяются величиной удельных потерь на гистерезис, удельных потерь на вихревые токи и удельных потерь вследствие магнитной вязкости. Потери мощ-

ности в обмотках зависят от величины активного сопротивления обмоток, индуктивности рассеяния, скин-эффекта и эффекта близости [1–5].

Определение потерь мощности трансформаторов электрическим методом сводится к измерению входных и выходных значений токов и напряжений. Недостатком метода проявляется в чувствительности к разности фаз между измеренным током и напряжением, особенно на высоких частотах, и несинусоидальные формы напряжений, что приводит к большим погрешностям измерения [3].

Определение потерь мощности трансформаторов калориметрическим методом сводится к измерению повышение температуры в контролируемой среде, окружающей исследуемое устройство. Недостатком метода является сложность конструкции, настройки и отсутствия возможности отдельного определения потерь обмоток от потерь в сердечнике [3].

На рис. 1 представлена функциональная схема измерителя потерь мощности в трансформаторах высокочастотных транзисторных преобразователей с использованием электрического метода.

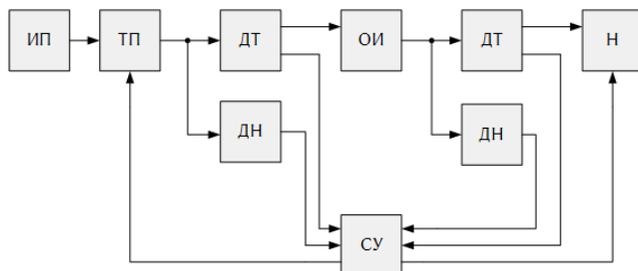


Рис. 1. Измеритель потерь трансформатора высокочастотных транзисторных преобразователей: ИП – источник питания; ТП – транзисторный преобразователь; ДТ – датчик тока; ДН – датчик напряжения; ОИ – объект измерения; СУ – система управления; Н – нагрузка.

Модуль измерения потерь мощности формирует для трансформатора напряжение прямоугольной формы с изменяющейся частотой. Параметры токов и напряжений измеряются датчиками и поступают в систему управления для определения потерь мощности.

Активное сопротивление и рассеиваемая мощность обмотки вычисляются по формулам.

$$R_i = \frac{R_{оп}}{\frac{U_{пит}}{U_i} - 1} - \text{сопротивление } i\text{-й обмотки трансформатора;}$$

где $R_{\text{оп}}$ – сопротивление верхнего плеча резистивного делителя напряжения; $U_{\text{пит}}$ – напряжение питания; U_i – падение напряжения на активном сопротивлении i -й обмотке.

Из-за несинусоидальных форм токов и напряжений в электрической цепи их функции определяются по известной формуле разложения в ряд Фурье. В результате подстановки получаем, что действующее значение тока I определяется через мгновенные значения как:

$$I_{\text{эфф}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i(t)^2 dt} = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} I_k^2} \quad - \quad \text{эффективное значение тока};$$

$P_{Ri} = I_{\text{эфф}}^2 Ri$ – потери мощности на активном сопротивлении обмотки.

Определение потерь мощности при скин-эффекте следующим образом. На транзисторный преобразователь поступает управляющий сигнал с различными значениями частоты. Далее вычисляются значения сопротивлений аналогично активному сопротивлению обмотки. Полученная зависимость сопротивления поверхностного эффекта от частоты интерполируется полиномом и используется при расчетах коэффициента полезного действия.

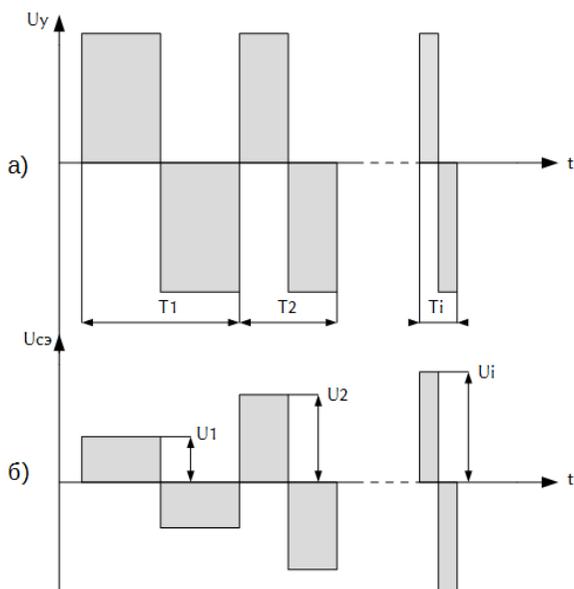


Рис. 3. Временные диаграммы: а – входной сигнал управления; б – зависимость падения на обмотках, вследствие поверхностного эффекта, от частоты

Измерение потерь мощности на вихревых токах и гистерезисе проводится при работе трансформатора в режиме холостого хода и высчитывается по формуле $P_{\text{mag}}(f) = P_0 - P_{R1} - P_{C3}(f)$ – суммарные потери мощности в сердечнике трансформатора; где P_{C3} – потери мощности на скин-эффекте и эффекте близости; P_0 – суммарная (входная) мощность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Легостаев Н.С. Магнитные элементы электронных устройств: учеб. пособие. – Томск: Эль Контент, 2014. – 186 с.
2. Бердников Д.В. Связь индуктивности рассеяния трансформатора и потерь в снаббере обратногоходового преобразователя // Современная электроника. – 2005. – № 3.
3. Novel and simple calorimetric methods for quantifying losses in magnetic core and GaN transistor in a high frequency boost converter / Wenbo Wang, Frans Pansier, Sjoerd de Haan, J.A. Ferreira / Rec. 2016.
4. Zhang J., Skutt G., Lee F.C. Some practical issues related to core loss measurement using impedance analyzer approach // Appl Power Electron. Conf. – Vol. 2. – P. 547-553 Mar. 195.
5. Conroy D.K., Pierce G.F. Measurement techniques for the design of high – frequency SMPS transformers, Proceeding of 3rd Annual IEEE APEC1988.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ

К.Ж. Габдолла, Е.А. Псиола, студенты

*Научный руководитель А.В. Топор, ст.преп., зав. лаб.
практической электроники каф. ПРЭ
г. Томск, ТУСУР, каф. ПрЭ, tav@ie.tusur.ru*

В настоящее время большое внимание разработчиков уделяется альтернативным источникам энергии. К таким источникам относятся энергия солнца, ветра и т.д. Такие источники наиболее важны в местах автономного проживания, когда другие классические источники энергии недоступны. Недостатки этих источников общеизвестны – наличие внешних факторов (отсутствие солнца или ветра).

Работа предлагаемого преобразователя не зависит от каких-либо внешних факторов. Устройство имеет небольшие габариты и стоимость. Принцип работы основан на том, что каждое тело обладает потенциальной энергией

$$W_{\text{пот}} = m \times g \times h,$$

где m – масса тела; g – ускорение свободного падения; h – высота.

При перемещении тела вниз совершается работа:

$$A = m \times g \times \Delta h,$$

где Δh – расстояние, на которое перемещается тело.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

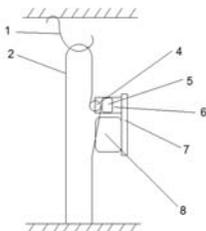


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – неподвижный крючок; 2 – нить; 3 – вал редуктора; 4 – редуктор; 5 – генератор постоянного тока; 6 – корпус генератора с редуктором; 7 – соединитель; 8 – груз массой m

Основным элементом является электродвигатель постоянного тока ДПМ-25-Н1-04, с редуктором, работающий в режиме генератора. На ось редуктора намотана нить. Если груз с прикрепленным к нему корпусом генератора с редуктором, подвесить с помощью нити за крючок, то под действием силы тяжести груз будет перемещаться вниз, заставляя вращаться вал редуктора. Вал редуктора, в свою очередь, будет вращать вал генератора, на выходе которого будет наводиться ЭДС, которая, в свою очередь, может быть использована как источник электрической энергии. Например, такое устройство можно применить для освещения туристической палатки светодиодным маломощным светильником мощностью 0,1 Вт, если периодически через 5–10 мин поднимать груз.

Экспериментальные исследования показали, что КПД данной установки не превышает 20%, вероятно потому, что основные потери связаны с потерями в редукторе.

ЛИТЕРАТУРА

5. Тарг С.М. Потенциальная энергия // Физическая энциклопедия / гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. – Т. 4. Пойнтинга–Робертсона эффект. – Стримеры. – С. 92. – 704 с.

6. Прохоров А.В. Перспективы использования альтернативных источников энергии [Электронный ресурс]. – <http://akbinfo.ru/alternativa/ispolzovanie-alternativnyh-istochnikov-jenergii.html>, свободный. – Загл. с экрана.

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ТРАНЗИСТОРНЫЙ КОММУТАТОР

И.Е. Гедзенко, студент

Научный руководитель В.Д. Семёнов, проф. каф. ПрЭ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. ПрЭ, gedzenkoie@gmail.com

В данной статье рассматривается работа высоковольтного транзисторного коммутатора с рабочим напряжением 10 кВ, током разряда 300 А при длительности фронта включения не более 50 нс. Коммутатор с подобными характеристиками используется в медицинском оборудовании, где требуется быстро разрядить ёмкость, заряженную до определённого напряжения. В данный момент такую задачу выполняет тиратрон, который по сравнению с транзисторным коммутатором имеет ряд недостатков.

Проведённый обзор [1–2] показал, что наиболее подходящей схемой для достижения требуемых параметров коммутатора является схема, приведенная на рис. 1, которая представляет из себя несколько параллельно-последовательно включенных IGBT-транзисторов.

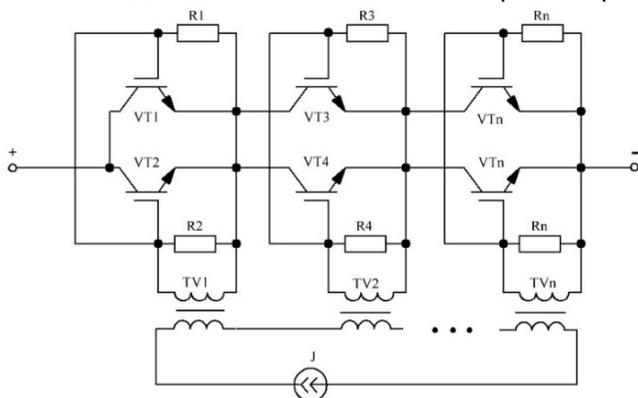


Рис. 1. Схема высоковольтного коммутатор с множеством трансформаторов

Эквивалентную схему цепи управления двух параллельно соединённых транзисторов, с допущением, что входная ёмкость транзисторов неизменна, можно представить в виде (рис. 2, а):

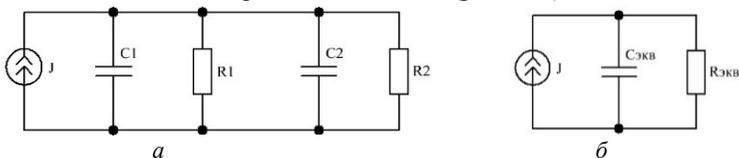


Рис. 2. Эквивалентная схема двух параллельно соединённых транзисторов (а) и схема после преобразования (б)

На рис. 2, а ёмкости $C1$ и $C2$ представляют из себя входные ёмкости транзисторов. Путём несложных преобразований можно получить следующую схему (рис. 2, б), где эквивалентная ёмкость и сопротивление равны:

$$C_{\text{экв}} = C1 + C2 \text{ и } R_{\text{экв}} = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}.$$

Для данной схемы можно записать уравнение изменения напряжения на ёмкости:

$$U_c(t) = J \cdot R_{\text{экв}} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), \quad (1)$$

где $\tau = R_{\text{экв}} \cdot C_{\text{экв}}$.

Открытие IGBT-транзистора происходит после достижения определённого напряжения на переходе затвор-эмиттер, которое в данном случае определяться произведением $J \cdot R_{\text{экв}}$. Из выражения (1), видно, что на скорость роста этого напряжения влияет величина τ . Откуда следует что для уменьшения времени открытия следует выбирать транзистор с как можно меньшей входной ёмкостью.

Уменьшение резистора приводит к ускорению заряда входной ёмкости, однако при этом нужно увеличить ток, чтобы обеспечить необходимое напряжение на переходе затвор-эмиттер и соответственно мощность драйвера.

В уравнении (1) не учитывается эффект Миллера. Поэтому целесообразно провести моделирование коммутатора в программе LTSpice [3], где используются транзисторы с паразитными параметрами. Модель высоковольтного коммутатора приведена на рис. 3.

На данной модели исследуются влияния резисторов $R1-R18$ на длительность фронта включения. В модели имеется ёмкость $C1$ номиналом 17680 пФ, заряженная до напряжения 10 кВ. Номиналы резисторов $R1-R18$ варьировались в диапазоне от 1 до 10 Ом. Несмотря на условно графическое изображения транзисторов $VT1-VT18$ как MOSFET, они имеют характеристики IGBT-транзистора. Модель IGBT транзистора IRG4PH50UDPbF была загружена с официального сайта производителя. Для данного транзистора максимальное напряжение затвор-исток $U_{зи}$ задаётся равным 18 В. Для достижения требуемого тока в 300 А, в качестве нагрузки используется резистор $R21$ номиналом 33 Ом. В качестве драйвера выступает источник импульсного тока со следующими параметрами: фронт нарастания и спада 10 нс, длительность импульса 1 мкс, амплитуда тока для каждого резистора определялась как $U_{зи} / R_{\text{экв}}$.

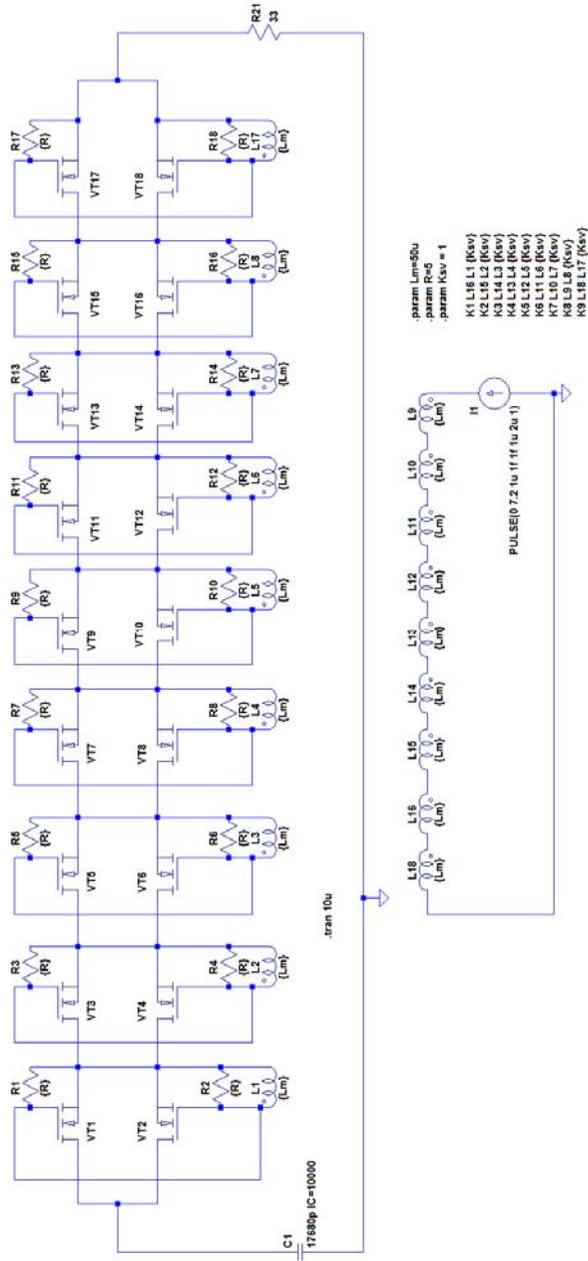


Рис. 3. Модель высоковольтного коммутатора, собранная в программе LTSpice

На рис. 4 приведена зависимость длительности фронта включения транзистора от сопротивления резистора. Фронт включения измерялся в диапазоне от 10 до 90% от входного напряжения.

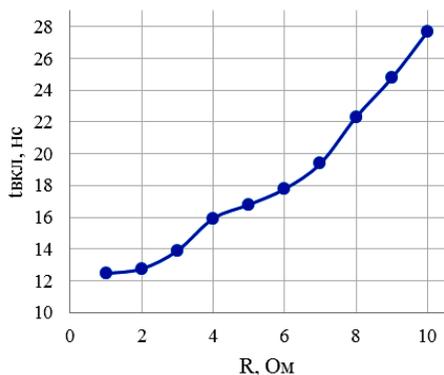


Рис. 4. График зависимости времени включения от резистора

График на рис. 4 имеет квадратичную зависимость. При резисторе 1 Ом, удастся уменьшить фронт импульса до 12,2 нс, однако для этого потребуются драйвер с величиной тока 36 А.

На рис. 5 приведен график зависимости длительности фронта включения коммутатора от величины тока драйвера.

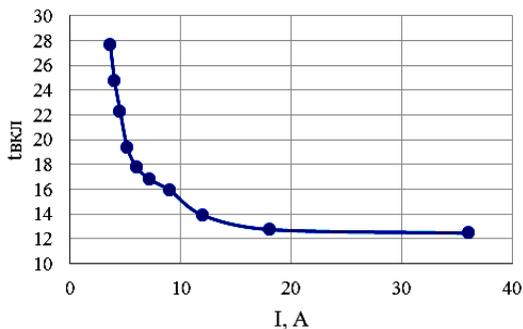


Рис. 5. Зависимость длительности фронта включения от величины тока драйвера

По данным зависимостям видно, что за счёт увеличения тока драйвера можно добиться уменьшения фронта включения транзисторов. Однако увеличение тока происходит гораздо быстрее, чем уменьшение времени включения, и необходимо выбирать компромисс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Е.В., Мошкунов С.И., Хомич В.Ю. Генератор высоковольтных наносекундных импульсов на основе составного твердотельного коммутатора // Прикладная физика. – 2006. – № 2. – С. 122–125.
2. Мошкунов С.И., Ребров И.Е., Хомич В.Ю. Управление электрооптическими затворами с помощью высоковольтных коммутаторов на основе биполярных транзисторов с изолированным затвором // Успехи прикладной физики. – 2013. – Т. 1, № 5. – С. 630–635.
3. Володин В.Я. LTSpice : компьютерное моделирование электронных схем. – СПб. : БХВ-Петербург, 2010. – 400 с.

РАСЧЕТ ПОТЕРЬ В ФЕРРИТЕ ИЗ МАТЕРИАЛА 3F46

В.Е. Вишняков, магистр; В.А. Кабиров, зав. лаб. ГПО каф. ПрЭ

Научный руководитель В.Д. Семенов, проф. каф. ПрЭ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, Volodia_vishnyakov@mail.ru

Целью исследования является улучшение уже готового устройства Zetta, назначение которого является удаление лака смоточных проводов. Под улучшением подразумевается расширение диапазона зачищаемых медных проводов. Для этого мне необходимо выбрать феррит по таким характеристикам как f – рабочая частота, B – рабочая индукция и потери в феррите. Для моих целей был выбран феррит из материала 3f46 компании Ferritecube.

На сайте производителя есть документация к этому материалу феррита, однако при расчете потерь в феррите возникла проблема, что производитель не указывает потери на всем диапазоне частот. На рис. 1 изображена зависимость магнитной проницаемости от частоты.

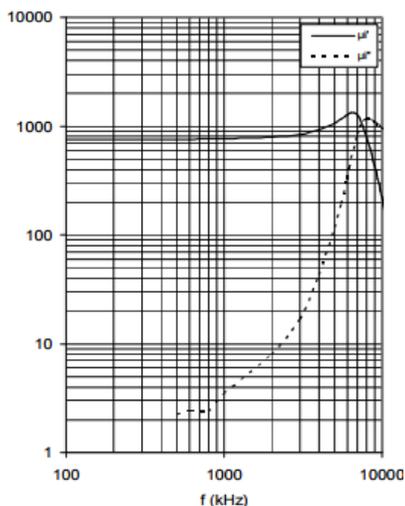


Рис. 1. Зависимость магнитной проницаемости от частоты

Из зависимости видно, что магнитные свойства феррита начинают ухудшаться на частоте 7 МГц и выше, а значит то, что феррит может работать в диапазоне частот от 100 Гц до 7 МГц. На рис. 2 изображена зависимость потерь от магнитной индукции.

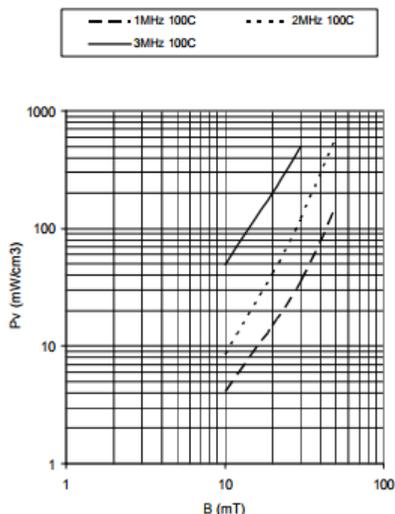


Рис. 2. Зависимость потерь от магнитной индукции

Для моего исследования необходимо знать потери в диапазоне частот от 4 до 4,6 МГц. Так как по данным исследованию в среде Comsol Multiphysics именно на частоте 4,6 МГц будет происходить нагрев медного провода диаметром 0,08 мм. На рис. 3 изображен график распределения температуры в медном проводе из которого видно, что провод помещенный в зазор индуктора Zetta шириной 10 мм нагреется до 432 °С.

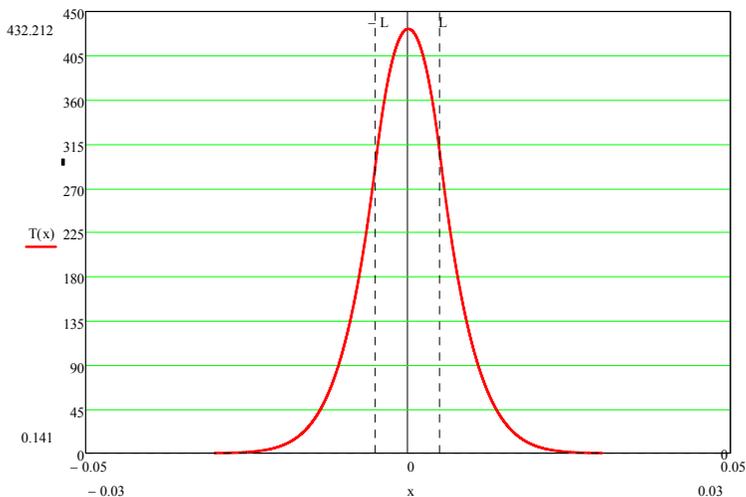


Рис. 3. Распределение температуры в медном проводе

Для нахождения потерь на других частотах воспользуемся экстраполяцией. Другими словами проведем прямую которая будет параллельна прямой на 3 Мгц на рис. 2.

Что бы ее провести необходимо найти коэффициенты α и β из выражения для нахождения потерь:

$$P_{уд} = \kappa \cdot B^\beta \cdot f^\alpha \quad (1)$$

где B – индукция магнитного поля; f – частота поля; α , β – коэффициенты, которые получают экспериментальным путем. Уравнение (1) описывает прямые на рис. 2. Для того что бы найти α и β запишем уравнение (1) в логарифмической форме для двух точек любой прямой и получим систему уравнений:

$$\begin{aligned} \lg P_{уд1} &= \beta \cdot \lg B_1 + \alpha \cdot \lg f; \\ \lg P_{уд2} &= \beta \cdot \lg B_2 + \alpha \cdot \lg f. \end{aligned} \quad (2)$$

Из системы уравнений методом подстановки найдем сначала коэффициент α :

$$\alpha = \frac{\lg P_{уд1} - \beta \cdot \lg B_1}{\lg f}. \quad (3)$$

Затем найдем коэффициент β подставив уже известную α в одно из уравнений системы, подставим :

$$\beta = \lg \frac{P_{уд1}}{P_{уд2}} \bigg/ \lg \frac{B_1}{B_2}. \quad (4)$$

Далее просто подставляем известные значения, которые предоставляет производитель и получим данные, которые запишем в табл. 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов на разных частотах

f , Мгц	α	β
1	0,744	1,932
1	0,901	2,505
2	0,835	2,153
2	1,038	2,907
3	0,909	2,096

В таблице представлены два значения α и β на некоторых частотах это связано с тем, что график имеет вид ломаной на этих частотах, прямая имеет небольшой излом и поэтому мы обязаны рассчитывать коэффициенты для трех точек.

По полученным данным табл. 1 построим график зависимости коэффициентов от частоты рис. 4.

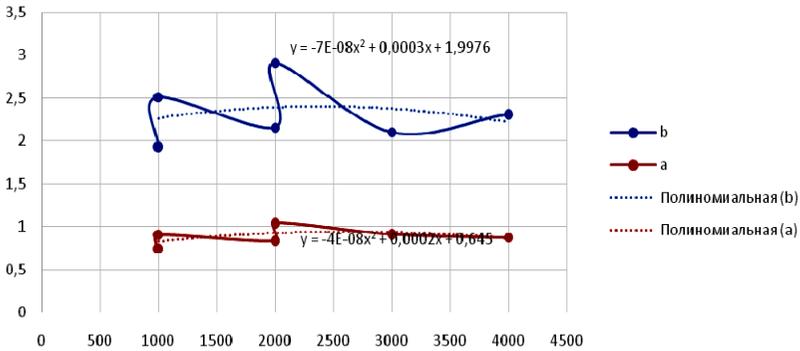


Рис. 4. Зависимости коэффициентов α , β от частоты

Однако прежде чем выбрать среднее значение коэффициентов стоит обратить внимание, что графики на частотах 2 и 3 МГц являются ломаными кривыми, а на частоте 3 МГц это уже прямая, так как нас интересует частоты 4 и 4,6 МГц примем, что это будут прямые как и на частоте 3 МГц и выберем коэффициент $\alpha = 0,909$ и $\beta = 2,1$.

Зная эти коэффициенты подставим их в формулу (1) и найдем потери на частоте 4,6 МГц которые представлены в табл. 2.

Таблица 2

Потери в феррите

B , мТл	$P_{вд}$, мВт/см ³
10	73
20	312,8
30	733
40	1341
50	2143
60	3142
70	4343
80	5749

ЛИТЕРАТУРА

1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ferroxcube.com/upload/media/product/file/MDS/3f46.pdf> (дата обращения: 27.02.2018).
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://en.tdk.eu/tdk-en/529424/products/product-catalog/ferrites-and-accessories/epcos-ferrites-and-accessories/er-etc-dc-cores-and-accessories> (дата обращения: 27.02.2018).
3. Мелешин В.И Транзисторная преобразовательная техника // Техносфера. – 2005. – С. 56–60.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ И ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КВАЗИРЕЗОНАНСНОГО ОБРАТНОХОДОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С АКТИВНЫМ ДЕМПФИРОВАНИЕМ

А.Е. Кебекбаев, магистрант каф. ПрЭ

Научные руководители: В.А. Кабиров, электроник I кат.;

В.Д. Семенов, зам. зав. каф. по НР, проф. каф. ПрЭ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, aidar-kz@list.ru

Необходимость снятия частотных характеристик квазирезонансного обратного преобразователя с активным демпфированием (КОПСАД) связана с замыканием обратной связи и выбором корректирующего звена. В статье [1] представлены расчеты данного преобразователя, но не получены частотные характеристики. Аналитический расчет частотных характеристик КОПСАД трудоемок и возможны аналитические ошибки, в связи с этим снятие частотных характеристик осуществлялось на имитационной модели в среде Matlab Simulink.

Среда Matlab Simulink позволяет создать уточненную имитационную модель с учетом паразитных параметров электронных компонентов, а с помощью инструмента FFT Analysis получить частотные характеристики.

Модель в среде Matlab Simulink изображена на рис. 69.

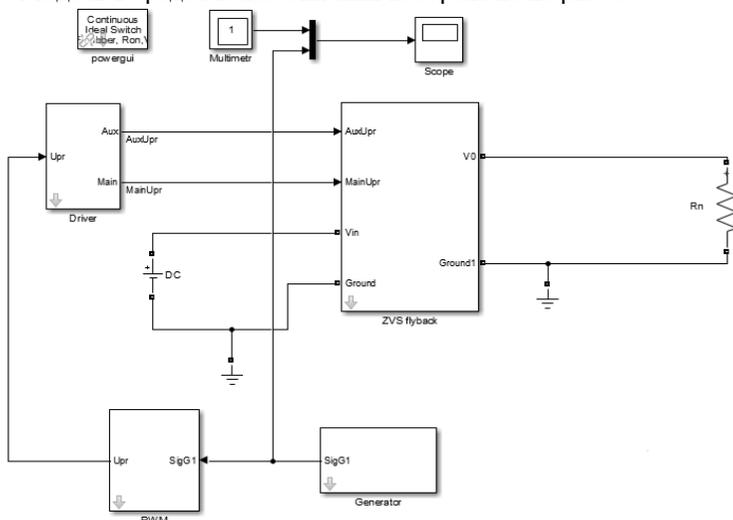


Рис. 1. Имитационная модель квазирезонансного обратного преобразователя с активным демпфированием

Имитационная модель содержит четыре группы связанных маскированных блоков [2]: блок модели силовой части КОПсАД (ZVS Flyback), с подключённым извне, источником постоянного напряжения DC и сопротивлением нагрузки R_n , блок широтно-импульсного модулятора (PWM), блок имитатора сигнала обратной связи и задатчика частоты (Generator), блок имитатора драйвера (Driver) и измерительные блоки.

Частотные характеристики получены с помощью инструмента быстрого преобразования Фурье. В среде Matlab это можно выполнить с помощью FFT Analysis во вкладке Tools, расположенной в блоке «powergui».

В блоке Generator устанавливаются значения частоты в диапазоне от 100 Гц до 100 кГц и амплитуды задающего воздействия, равного 0,01В, и запускается расчет модели.

В области «FFT settings» в инструменте FFT Analysis устанавливаются параметры позволяющие провести частотный анализ на выделенном промежутке времени, в установившемся режиме:

Start time (s) = 0,01 – время начала измерений после переходного процесса;

Number of cycles $N = 1$ – количество циклов измерения;

Fundamental frequency (Hz) $f_s = 100$ – шаг изменения частоты;

Max frequency (Hz) f_{G1max} – максимальное значение частоты, в котором производится измерение. Величина этого параметра должна быть больше, чем исследуемая частота, что необходимо для того чтобы исследуемая величина попала в диапазон измерений.

В разделе «Display style», располагающемся в области «FFT settings», выбирается из списка режим «List (relative to specified base)», что необходимо для определения амплитуды относительно которой будет проводиться частотный анализ. Соответственно значение параметра «Base value» устанавливается равным амплитуде задающего сигнала 0,01 В. После чего нажимается кнопка «Display».

В появившемся списке результатов расчетов выбирается строка, соответствующая исследуемой частоте, и фиксируется коэффициент усиления по напряжению.

В области «FFT settings» изменяется параметр Fundamental frequency (Hz), равной исследуемой частоте, для повышения точности измерения фазы. После чего нажимается кнопка «Display».

В появившемся списке результатов расчета выбирается строка, соответствующая исследуемой частоте, и фиксируется фаза.

По полученным данным построены графики зависимости коэффициента усиления по напряжению и фазы от частоты по задающему

воздействию в логарифмическом масштабе, ЛАЧХ и ЛФЧХ соответственно. Графики представлены на рис. 2, 3.

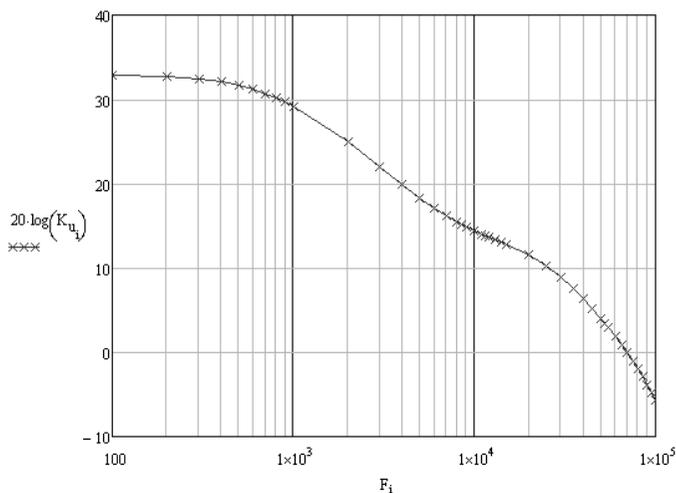


Рис. 2. ЛАЧХ зависимости коэффициента усиления от частоты по задающему воздействию на основе экспериментальных данных (точки)

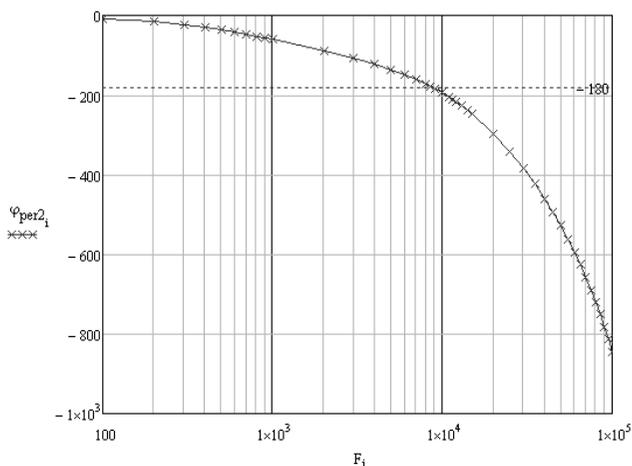


Рис. 3. График ЛФЧХ зависимости фазы от частоты по задающему воздействию на основе экспериментальных данных (точки)

Представленные ЛАЧХ и ЛФЧХ будут подвержены анализу с целью разработки корректирующего звена для построения источника питания с замкнутой обратной связью, которая позволит обеспечить необходимые статические и динамические характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

7. Analysis, design and implementation of an active clamp flyback converter [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1619724/?reload=true> (дата обращения: 15.03.2018).

8. Черных И.В. Simulink: Инструмент моделирования динамических систем, Раздел 9.10 Маскирование подсистем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://matlab.exponenta.ru/simulink/book1/9_10.php (дата обращения: 15.03.2018).

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОТАКТНОГО НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПОВЫШАЮЩЕГО ТИПА С ШИМ

О.Б. Тохтаров, Д.В. Ли, Е.В. Ким, студенты магистратуры

Научный руководитель С.Г. Михальченко, д.т.н., проф., зав. каф. ПрЭ г. Томск, ТУСУР, каф. ПрЭ, tohatovob@mail.ru

При исследовании технического состояния преобразователя возникает задача обнаружения тех или иных отклонений от нормального состояния. Предварительное моделирование изменений, которые могут произойти в ходе эксплуатации преобразователя, позволяет повысить качество выходного напряжения, а также живучесть преобразователя. Исследование динамических режимов замкнутых систем регулирования ключевого типа, описываемых нелинейными уравнениями кусочно-непрерывного типа, представляет собой самостоятельную задачу для каждого типа преобразователя.

В данной работе представлена математическая модель и результаты моделирования преобразователя напряжения повышающего типа.

Схема замещения повышающего преобразователя представлена на рис 1.

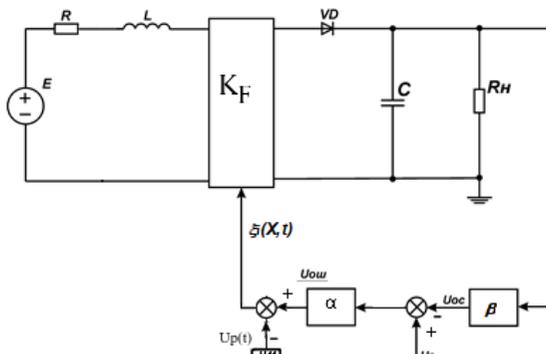


Рис. 1. Схема замещения преобразователя напряжения повышающего типа

При построении схемы замещения принимались во внимание следующие допущения:

- 1) входной источник питания E является идеальным источником напряжения;
- 2) импульсный преобразователь выполнен на идеальных ключах с нулевым временем переключения;
- 3) элементы R, L, C линейны; сопротивление R моделирует активное сопротивление индуктивности;

На схеме замещения введены следующие обозначения: E – напряжение источника питания; R – сопротивление, характеризующее потери в индуктивности и преобразователе; VD – диод; L – индуктивность, C – емкость; R_n – сопротивление нагрузки; U_3 – задающее напряжение; α – коэффициент усиления пропорционального звена; $U_{oc}(t)$ – коэффициент обратной связи; $U_{ош}(t)$ – сигнал ошибки; $i(X,t)$ – разностная функция; K_F – генератор развертывающего напряжения; $U_p(t)$ – развертывающее пилообразное напряжение ШИМ-регулятора; β – коэффициент передачи датчика обратной связи по выходному напряжению U_c .

Математическая модель может быть записана в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений с переменными матрицами \mathbf{A}_i и \mathbf{B}_i , где $i=1,2,3$; – интервал непрерывности

$$\frac{d\mathbf{X}}{dt} = \mathbf{A}_i[K_F(\xi)]\mathbf{X} + \mathbf{B}_i[K_F(\xi)] \quad (1)$$

где \mathbf{X} – вектор переменных состояния (ток i_L в индуктивности и u_C напряжение на конденсаторе фильтра); \mathbf{A} – матрица системы, которая имеет три состояния ($\mathbf{A}_1, \mathbf{A}_2, \mathbf{A}_3$ в зависимости от значения коммутационной функции $K_F(\xi)$, ШИМ и наличия режима прерывистого тока); \mathbf{B} – вектор вынуждающих воздействий

Рабочий цикл преобразователя разбивается на три участка непрерывности.

$$\frac{d\bar{X}}{dt} = \begin{cases} A_1 \cdot \bar{X} + \bar{B}_1, & \text{при } (k-1)a \leq t \leq t_{k1} & K_F=1, i_L > 0; \\ A_2 \cdot \bar{X} + \bar{B}_2, & \text{при } t_{k1} \leq t \leq t_{k2} & K_F=0, i_L > 0; \\ A_3 \cdot \bar{X} + \bar{B}_3, & \text{при } t_{k2} \leq t \leq k \cdot a & K_F=0, i_L = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Поиск моментов коммутации на одном периоде $[(k-1)a, ka]$ основывается на том, что сигнал обратной связи $\xi(\mathbf{X}, t)$ обращается в нуль.

Отыскав моменты, когда $\xi(\mathbf{X}, t)$ обращается в нуль, получаем момент коммутации t_k^1 – закрытие транзистора VT, передача энергии

из дросселя L в нагрузку, до этого момента транзистор VT открыт; t_k^2 – момент когда ток дросселя падает до нуля, энергия из конденсатора C передается в нагрузку. Появляется возможность аналитически построить мгновенные значения решения исходной задачи (5) на участках непрерывности [3].

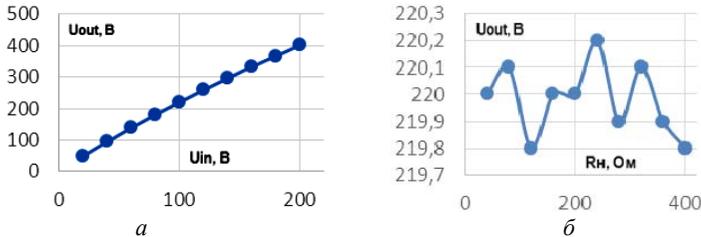


Рис. 2. Изменение выходного напряжения U_{out} , при изменении напряжения питания U_{in} – a ; изменение выходного напряжения U_{out} , при изменении сопротивления нагрузки R_n (тока I_n) – b

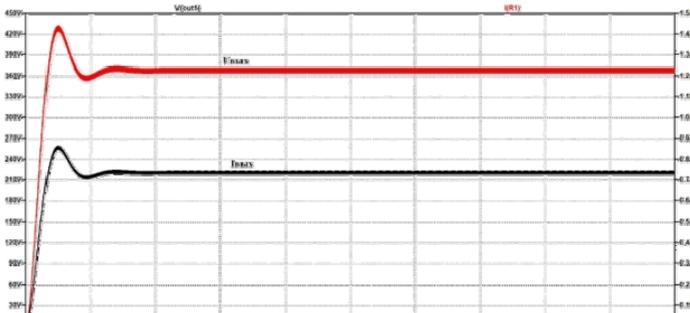


Рис. 3. Временные диаграммы работы преобразователя. Ток и напряжение на нагрузке при $\alpha = 1,5$

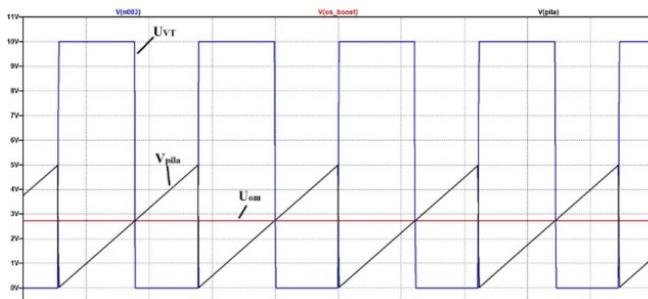


Рис. 4. Временные диаграммы работы преобразователя: коммутационная функция; сигнал ошибки U_{om} ; развертывающее (пилообразное) напряжение нагрузке при $\alpha = 1,5$

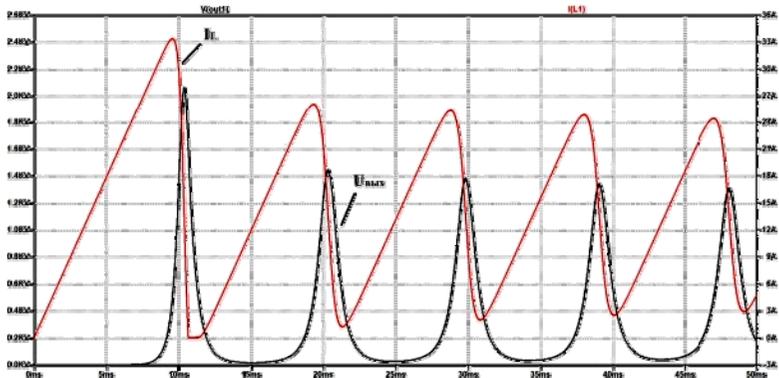


Рис. 5. Временные диаграммы тока дросселя и напряжении на нагрузке $\alpha = 2,5$

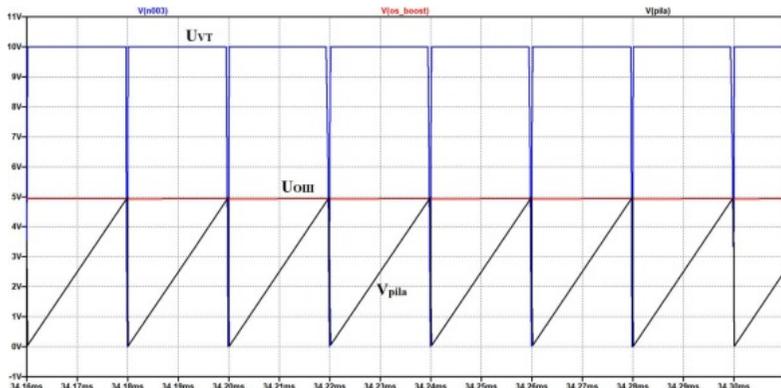


Рис. 6. Временные диаграммы работы преобразователя:
 коммутационная функция; сигнал ошибки $U_{ош}$;
 развертывающее (пилообразное) напряжение, при $\alpha = 2,498$

Следуя данной тенденции в исследования преобразователей можно сказать что математическое моделирование позволяет более глубоко исследовать процессы, протекающие в преобразователе и позволяет его усовершенствовать его.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рускин В.А., Михальченко С.Г. Бифуркационный анализ динамики повышающего преобразователя напряжения // Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии. – Екатеринбург, 2015.
2. Кобзев А.В. Нелинейная динамика полупроводниковых преобразователей / А.В. Кобзев, Г.Я. Михальченко, С.Г. Михальченко, А.И. Андриянов // Томск: Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2007. – 224 с.

ИНВЕРТОР ДЛЯ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

***В.В. Мирзляков, С.А. Пакульчев, Д.А. Малофеев,
М.А. Кажмаганбетова, студенты***

*Научный руководитель А.В. Топор, ст. преп., зав. лаб.
практической электроники, каф. ПРЭ
г. Томск, ТУСУР, каф. ПрЭ, tav@ie.tusur.ru*

Солнечные батареи состоят из набора солнечных элементов (фотоэлектрических преобразователей), которые непосредственно преобразуют солнечную энергию в электрическую. Наиболее распространенный и популярный вид солнечных батарей – солнечные батареи из монокристаллического кремния.

Их получают литьем кристаллов кремния высокой чистоты, при котором расплав отвердевает при контакте с затравкой кристалла. В процессе охлаждения кремний постепенно застывает в форме цилиндрической отливки монокристалла диаметром 13–20 см, длина которого достигает 200 см. Получаемый таким образом слиток нарезается листочками толщиной 250–300 мкм. Такие элементы имеют более высокую эффективность по сравнению с элементами, вырабатываемыми другими способами, КПД достигает 19%, благодаря особой ориентации атомов монокристалла, которая способствует росту подвижности электронов. Кремний пронизывает сетка из металлических электродов.

Солнечные панели из монокристаллических фотоэлектрических элементов более эффективны, но и более дороги в пересчете на ватт мощности. Их КПД, как правило, в диапазоне 14–18%.

Тонкопленочные технологии позволяют делать более дешевую по себестоимости производства панель. Тонкопленочные панели не требуют прямых солнечных лучей, работают при рассеянном излучении, благодаря чему суммарная вырабатываемая за год мощность больше на 10–15%, чем вырабатывают традиционные кристаллические солнечные панели. Тонкая пленка является намного более рентабельным способом производства энергии и может переиграть монокристаллы в областях с туманным, пасмурным климатом или в тех отраслях промышленности, которым свойственна запыленность воздуха или высокое содержание в нем иных макрочастиц.

Тонкопленочные панели в 95% случаев используются для «он-грид» систем, генерирующих электроэнергию непосредственно в сеть. Для этих панелей необходимо использовать высоковольтные контроллеры и инверторы, не стучающиеся с маломощными бытовыми системами. Хотя себестоимость тонкопленочных панелей невысокая, они занимают значительно большую площадь (в 2,5 раза), чем моно- и

поликристаллические панели. Из-за меньшего КПД. Тонкопленочные панели эффективно использовать в системах мощностью 10 кВт и более. Для построения небольших автономных или резервных систем электроснабжения используются монокристаллические и поликристаллические панели.

Солнечные панели на основе CIGS. CIGS – это полупроводник, состоящий из меди, индия, галлия и селена. Этот тип солнечных батарей тоже выполнен по пленочной технологии, но в сравнении с панелями из теллурида кадмия обладает более высокой эффективностью, его КПД доходит до 15%.

Наиболее важным техническим параметром солнечной батареи, которая оказывает основное влияние на экономичность всей установки, является ее полезная мощность.

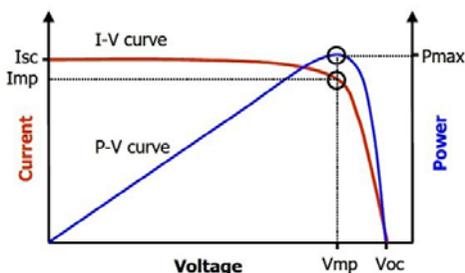


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика солнечного элемента

На графиках кривая I–V варьируется от тока короткого замыкания I_{sc} при нулевом напряжении до нулевого тока при напряжении холостого хода U_{oc} . На перегибе кривой I–V будет находиться точка максимального отбора мощности V_{mp} .

Разрабатываемое устройство отбора максимальной мощности предназначено для поддержания точки отбора максимальной мощности на перегибе кривой вольт-амперной характеристики и заряда аккумуляторной батареи от солнечной батареи.

На рис. 2 представлена функциональная схема преобразователя. Особенностью схемы является то, что основная обратная связь заводится на схему управления не с выхода, а с входа устройства. При этом ШИМ-контроллер системы управления поддерживает напряжение на входе инвертора (выходе солнечной батареи) постоянным и равным напряжению в точке максимального отбора мощности. К выходу преобразователя подключается аккумуляторная батарея, которая является нагрузкой устройства. Регулирование и стабилизация входного напряжения и точки отбора максимальной мощности осуществляется системой управления за счет отрицательной обратной связи по

напряжению. Также защита аккумуляторной батареи обеспечивается обратной связью по напряжению.

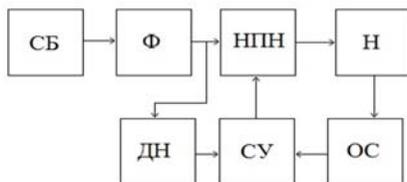


Рис. 2 Функциональная схема устройства: СБ – солнечная батарея; Ф – фильтр, выполняющий роль накопительного конденсатора; НПН – непосредственный повышающий преобразователь напряжения; ДН – датчик напряжения; СУ – схема управления; ОС – обратная связь по напряжению; Н – нагрузка

ЛИТЕРАТУРА

1. Малинин Г.В., Серебрянников А.В. Слежение за точкой максимальной мощности солнечной батареи / Вестник Чувашского ун-та. – 2016. – № 3. – С. 76 – 92.
2. Прохоров А.В. Виды солнечных батарей, их особенности, эффективность и установка [Электронный ресурс]. – <http://akbinfo.ru/alternativa/solnechnye-batarei.html/>, свободный. – Загл. с экрана.
3. Абдуллина Р.Е. Разбираемся в многообразии видов солнечных панелей [Электронный ресурс]. – <http://altenergiya.ru/sun/mnogoobrazie-vidov-solnechnyx-panelej.html/>, свободный. – Загл. с экрана.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА ИХ СВОЙСТВ

А.С. Попов, аспирант каф. ЭАФУ, ТПУ;

И.Е. Меняйло, студент каф. ЭАФУ

*Научный руководитель А.В. Обходский, доцент каф. ЭАФУ, к.т.н.
г. Томск, ТПУ, art707@tpu.ru*

Электроизоляционные материалы (диэлектрики) – это вещества, обладающие способностью поляризоваться в электрическом поле и иметь большое сопротивление прохождению электрического тока. В контексте разработки высоковольтного источника питания диэлектрик должен быть твердым, обладать низкой теплопроводностью, низкими диэлектрическими потерями, высокой электрической прочностью и низким коэффициентом электрического старения. Также он должен быть достаточно прочным, обладать высокой температурой размягчения и высокой стойкостью к термоударам.

Поливинилхлорид, бумага, резина и эпоксидная смола являются самыми используемыми электроизоляционными материалами в настоящее время. Дешевизна и неплохие диэлектрические свойства показывают материалы в выгодном свете, однако в рамках проекта ни один из них не подходит (в том виде, в котором они используются повсеместно), поскольку киловольты напряжения на малых расстояниях может, и получится изолировать, с помощью, к, примеру, бумаги или эпоксидной смолы. Однако механические свойства, коэффициент электрического старения и стойкость к термоударам у перечисленных материалов в том виде, в котором они используются, оставляют желать лучшего [1]. Но существуют исследования, демонстрирующие улучшение свойств эпоксидной смолы путем добавления некоторых веществ, при этом свойства существенно улучшаются [2–4]

Одним из лучших диэлектриков на сегодняшний день является политетрафторэтилен (тефлон или фторопласт-4). Не смотря на то, что тефлон себя зарекомендовал для других целей, в электроизоляции он все же используется [5].

Перспективным направлением в области электроизоляции являются нанокompозиты. Они представляют собой полимерную матрицу, наполненную различными наночастицами. Некоторые нанокompозиты обладают высокой устойчивостью к термоударам, высокими диэлектрическими свойствами и низким коэффициентом электрического старения [6]. В настоящее время ведутся разработки по расширению списка полезных свойств нанокompозитов для применения в области электроизоляции [7]. В работе [8] представлен обзор нанодиэлектриков с соответствующими выводами, касающиеся перспективы развития направления.

Другими возможными материалами для электроизоляции в высоковольтных проводящих линиях источника питания является группа таких материалов как стекло и керамика. Некоторые керамические соединения способны выдерживать напряжение более 100 кВ. Другие соединения хорошо себя зарекомендовали при использовании в высокотемпературных условиях [9]. Главным достоинством такой электроизоляции является ее долговечность, поскольку она минимально подвержена электрическому старению и обладает высокой химической стойкостью. К недостаткам относится сложность в монтаже, устройство должно быть спроектировано так, чтобы изоляция могла монтироваться отдельными элементами, а не сплошной заливкой.

Таким образом, для электроизоляции токопроводящих линий источника питания может подойти соединение на основе керамики, эпоксидной смолы, полимеров или нанокompозитов. Если произво-

дить реальные эксперименты с каждым из них, то потребуется колоссальное количество финансовых ресурсов и времени. Решить эту проблему поможет компьютерное моделирование, с помощью которого можно получить необходимые свойства как известных, так и неизвестных материалов. После проведения серии расчетных экспериментов будет выбран оптимальный вариант материала для электроизоляции токопроводящих линий источника питания.

Наиболее универсальными методами для расчета свойств материалов обладает квантовая химия. Только здесь можно зная только компонентный состав и геометрические характеристики материала рассчитать необходимые свойства. В случае использования расчетов по методу молекулярной динамики перед квантово-химическими расчетами, можно не обладать информацией по поводу геометрической структуры, но при этом снижается точность расчетов. Важным моментом при расчете методами квантовой химии является возможно программного обеспечения производить расчеты для веществ, обладающих кристаллической решеткой, поскольку одно из них может быть выбрано в качестве электроизолятора.

Одним из наиболее универсальных методов квантово-химического расчета является метод Хартри-Фока с использованием уравнений Рутаана в приближении МО ЛКАО – молекулярные орбитали как линейная комбинация атомных орбиталей или КО ЛКАО – кристаллические орбитали как линейная комбинация атомных орбиталей. В контексте разработки высоковольтного источника питания предполагается производить расчеты по методу Хартри-Фока-Рутаана в приближении КО ЛКАО путем расчета зонной диаграммы и извлечения из нее численных характеристик электрических свойств материала аналогично проделанной работе [10].

Исследования проводились при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации. Соглашение RFMEFI57517X0150.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yoshimura N., Kumagai S., Nishimura S. Electrical and environmental aging of silicone rubber used in outdoor insulation // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – 1999. – Vol. 6, No. 5. – P. 632–650.
2. Imai T., Sawa F., Nakano T., Ozaki T. et al. Effects of nano- and micro-filler mixture on electrical insulation properties of epoxy based composites // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – 2006. – Vol. 13, No. 2. – P. 319–325.
3. Kimura H., Murata Y., Matsumoto A. et al. New thermosetting resin from terpenediphenol-based benzoxazine and epoxy resin // Journal of Applied Polymer Science. – 1999. – Vol. 74, No. 9. – P. 2266–2273.

4. Iyer G., Gorur R.S., Richert R., Krivda A., Schmidt L.E. Dielectric properties of epoxy based nanocomposites for high voltage insulation // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – 2011. – Vol. 18, No. 3. – P. 659–666.
5. Yoon J.S., Bae Y.D., Kwak J.G. & Hong B.G. Development of an insulator and liquid phase shifter for the KSTAR tokamak // Journal of the Korean Physical Society. – 2004. – Vol. 44, No. 5 I. – P. 1203–1206.
6. Sarathi R., Sahu R.K., Rajeshkumar P. Understanding the thermal, mechanical and electrical properties of epoxy nanocomposites // Materials Science and Engineering A. – 2007. – Vol. 445–446. – P. 567–578.
7. Smith R.C., Liang C., Landry M., Nelson J.K., Schadler L.S. The mechanisms leading to the useful electrical properties of polymer nanodielectrics // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – 2008. – Vol. 15, No. 1. – P. 187–196.
8. Cao Y., Irwin P.C., Younsi K. The future of nanodielectrics in the electrical power industry // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – 2004. – Vol. 11, No. 5. – P. 797–807.
9. Olding T., Sayer M., Barrow D. Ceramic sol-gel composite coatings for electrical insulation // Thin Solid Films. – 2001. – Vol. 398–399. – P. 581–586.
10. Obkhodsky A., Popov A., Zolotarev A., Kuznetsov S., Sachkov V. Numerical research of material crystal lattice parameters based on REM // MATEC Web of Conferences. – 2017: Fundamental Aspects of Rare-earth Elements Mining and Separation and Modern Materials Engineering (REE-2016). – Vol. 96, Article № 00006. – P. 1–5.

**ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ
БАКАЛАВРА ПРОФИЛЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА
В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФГОС ВО 3++**

М.С. Огнева, магистрант

*Научный руководитель В.Л. Савчук, доцент каф. ПрЭ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ПрЭ, svl@ie.tusur.ru*

Министерством образования и науки Российской Федерации утверждены новые образовательные стандарты высшего образования (ФГОС ВО 3++), которые вступили в действие с 30 декабря 2017 г., а прием на обучение по действующим сейчас образовательным стандартам будет прекращен 31 декабря 2018 года. В связи с этим образовательным учреждениям и организациям необходимо в течение года привести свои основные профессиональные образовательные программы (ОПОП) в соответствие с ФГОС ВО 3++.

Важным разделом разработки ОПОП является формирование требований к результатам освоения образовательной программы (составление перечня универсальных (УК), общепрофессиональных (ОПК), и профессиональных (ПК) компетенций).

ФГОС ВО 3++ по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и микроэлектроника [1] устанавливает только универсальные и общепрофессиональные компетенции. Профессиональные компетенции формируются учебной организацией на основе профессиональных стандартов (ПС), соответствующих профессиональной деятельности выпускников [2–5], рекомендаций примерной основной образовательной программы (ПООП) [6] и требований, предъявляемых работодателями на рынке труда к выпускникам в соответствии с заявленным профилем подготовки.

Профиль «Промышленная электроника» ориентирован на следующие области профессиональной деятельности выпускников: Ракетно-космическая промышленность (сфера проектирования, разработки, монтажа и эксплуатации электронных устройств ракетно-космической промышленности). Профессиональный стандарт 25.036 – Специалист по электронике бортовых комплексов управления; Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (сфера эксплуатации электронных средств). Профессиональные стандарты 40.011 – Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам; 40.035 – Инженер-конструктор аналоговых сложнофункциональных блоков; 40.040 – Инженер в области разработки цифровых библиотек стандартных ячеек и сложнофункциональных блоков.

В результате анализа раздела II ПС (функциональная карта вида профессиональной деятельности) и раздела III ПС (характеристика обобщенных трудовых функций (ОТФ)), используемых для разработки ОПОП, были отобраны наиболее значимые трудовые функции и сформирован перечень профессиональных компетенций по областям и сферам деятельности. Результаты представлены в таблице.

В работе проанализирован перечень обобщенных трудовых функций ПС, отобранных для разработки образовательной программы и определена трудовая функция, не представленная в ФГОС ВО и ОПОП, но которую необходимо учесть в образовательной программе (проведение патентных исследований и определение характеристик продукции (услуг)). В связи с этим необходимо ввести в ОПОП самостоятельно определяемую профессионально-специализированную компетенцию: способен проводить патентные исследования и защиту объектов интеллектуальной собственности (ПСК-1).

Сопоставление трудовых функций ПС и профессиональных компетенций ОПОП

Требования ПС		Рекомендации ПООП	
Обобщенные трудовые функции (ОТФ)	Трудовые функции (ТФ)	Профессиональные компетенции по областям (сферам) профессиональной деятельности	Выводы
Ракетно-космическая промышленность (сфера проектирования, разработки, монтажа и эксплуатации электронных устройств ракетно-космической промышленности)			
Создание электронных средств и электронных систем БКУ (25.036)	Проведение исследований электронных средств и электронных систем БКУ (25.036). Уровень квалификации-6	Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения (ПК-2)	Отличия содержания рекомендуемых ПООП профессиональных компетенций и соответствующих им трудовых функций ПС несущественны и не требуют внесения изменений и дополнений к ОПОП
Создание электронных средств и электронных систем БКУ (25.036)	Проектирование электронных средств и электронных систем БКУ и осуществление контроля над их изготовлением. (25.036). Уровень квалификации-6	Способен выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования (ПК3)	
Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (сфера эксплуатации электронных средств)			
Моделирование, анализ и верификация результатов моделирования разработанных принципиальных схем аналоговых блоков и СФ-блока (40.035)	Моделирование схемы всего аналогового СФ-блока с применением целевой системы автоматизированного проектирования (40.035). Уровень квалификации-6	Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования (ПК-1)	Отличия содержания рекомендуемых ПООП профессиональных компетенций и соответствующих им трудовых функций ПС несущественны и не требуют внесения изменений и дополнений к ОПОП
Разработка принципиальных электрических схем отдельных аналоговых блоков и всего аналогового СФ-блока (40.035)	Проведение оценочного расчета параметров отдельных аналоговых блоков и СФ-блока в целом. (40.035). Уровень квалификации-6	Способен выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования (ПК-3)	
Разработка электрических схем и характеристика стандартных ячеек библиотеки (40.040)	Разработка электрических схем стандартных ячеек библиотеки (40.040). Уровень квалификации-6		

Разработка поведенческих описаний моделей стандартных ячеек, разработка технической документации на состав библиотеки стандартных ячеек (40.040)	Разработка технической документации на библиотеку стандартных ячеек (40.040) Уровень квалификации-6	Способен осуществлять контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам (ПК-4)	
Проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок при исследовании самостоятельных тем (40.011)	Проведение патентных исследований и определение характеристик продукции (услуг) (40.011). Уровень квалификации-6	Отсутствует в ПООП	Необходимо ввести в ПООП самостоятельно определяемую профессионально-специализированную компетенцию: способен проводить патентные исследования и защиту объектов интеллектуальной собственности (ПСК-1)

Перечень компетенций бакалавра направления 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника», профиль «Промышленная электроника» содержит 4 рекомендуемых ПООП профессиональных компетенций и одну определяемую организацией самостоятельно профессионально-специализированную компетенцию. Совокупность профессиональных компетенций, установленных программой бакалавриата, обеспечивает выпускнику способность осуществлять профессиональную деятельность в двух областях и двух сферах профессиональной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования – бакалавриат по направлению 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника». Приказ Минобнауки России от 19.09.2017 г. № 927. – Режим доступа: http://fgosvo.ru/uploadfiles/FGOS%20VO%203++/Bak/110304_B_3_12102017.pdf (дата обращения: 2.03.2018).

2. Профессиональный стандарт «Специалист по электронике бортовых комплексов управления». Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 03.12.2015 г. № 979 н. – Режим доступа: <http://fgosvo.ru/uploadfiles/profstandart/25.036.pdf> (дата обращения: 2.03.2018).

3. Профессиональный стандарт «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам» Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 04.03.2014 г. № 121 н. – Режим доступа: <http://fgosvo.ru/uploadfiles/profstandart/40.011.pdf> (дата обращения: 2.03.2018).

4. Профессиональный стандарт «Инженер-конструктор аналоговых сложнофункциональных блоков» Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 г. № 457 н. – Режим доступа: <http://fgosvo.ru/uploadfiles/profstandart/40.035.pdf> (дата обращения: 2.03.2018).

5. Профессиональный стандарт «Инженер в области разработки цифровых библиотек стандартных ячеек и сложнофункциональных блоков» Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 10.07.2014 г. № 457 н. – Режим доступа: <http://fgosvo.ru/uploadfiles/profstandart/40.040.pdf> (дата обращения: 2.03.2018).

6. Примерная основная образовательная программа по направлению подготовки 11.03.04 – Электроника и нанoeлектроника. Уровень высшего образования – бакалавриат (проект). ФУМО по УГСН «Инженерное дело, технологии и технические науки. ЛЭТИ, 2017 г. – Режим доступа: <http://umo.eltech.ru/assets/files/11.03.04.docx> (дата обращения: 2.03.2018).

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДЯЩЕГО ПОКРЫТИЯ ПД-S16 ДЛЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Р.Ф. Кудрявцев, магистрант

*Научный руководитель А.А Иванов, ст. преп. каф. РЭТЭМ
г. Томск ТУСУР, каф. РЭТЭМ, rinat-kudrjavcev@rambler.ru*

В современных печатных платах с ростом степени интеграции элементной базы и плотности размещения компонентов, все большее значение приобретает учет тепловых процессов. Проблему теплоотвода решают различными методами. Один из основных применений плат с теплопроводящей основой.

Импортные теплопроводящие пасты имеют максимальное значение коэффициента теплопроводности 5 Вт/м·К, в свою очередь теплопроводящая паста ПД-S16 $30 \pm 2,9$ Вт/м·К. Шестикратная разница в коэффициенте теплопроводности позволяет увеличить плотность размещения компонентов на печатной плате, что приводит к экономичности ресурсов. Данная разница дает возможность конструировать более высокопроизводительные приборы.

Целью данной работы является исследование характеристик и совершенствования теплопроводящего покрытия ПД-S16.

Теплопроводящие покрытия. Контроль значения теплопроводности изоляционного покрытия ПД-S16 на алюминиевых основаниях

марки АМГ6-Б, осуществляется на установке измерения теплопроводности и температуропроводности NETZSCH LFA 467. Проводится три измерения температуропроводности каждого из шести образцов с условными номерами 1-6, произвольно отобранными из 14 образцов. Дополнительно использованы три алюминиевых основания с условными номерами А1, А2 и А3.

При расчете удельной теплоемкости используется эталонный образец из алюмооксидной керамики марки «Alumina». Средние значения результатов измерений и расчета представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений и расчета коэффициента теплопроводности

Образец	Толщина образца, $\delta_{обр}$	Диаметр	Масса	Плотность геометрическая, ρ
№	мм	мм	мг	г/см ³
А1	1,415 ± 0,002	12,66 ± 0,03	486,11 ± 0,06	2,73 ± 0,017
А2	1,411 ± 0,002	12,67 ± 0,03	486,69 ± 0,06	2,74 ± 0,017
А3	1,416 ± 0,002	12,68 ± 0,03	487,95 ± 0,06	2,73 ± 0,017
1	1,494 ± 0,002	12,69 ± 0,03	513,10 ± 0,06	2,72 ± 0,017
2	1,471 ± 0,002	12,66 ± 0,03	504,36 ± 0,06	2,72 ± 0,017
3	1,474 ± 0,002	12,67 ± 0,03	508,48 ± 0,06	2,74 ± 0,017
4	1,455 ± 0,002	12,68 ± 0,03	503,26 ± 0,06	2,74 ± 0,017
5	1,476 ± 0,002	12,69 ± 0,03	507,35 ± 0,06	2,72 ± 0,017
6	1,457 ± 0,002	12,66 ± 0,03	500,75 ± 0,06	2,73 ± 0,017

Так как керамическое покрытие формируется на материале основы образца – алюминиевом сплаве, то толщина основы после покрытия δ_A будет определяться как разница измеренной толщины образца $\delta_{обр}$ и толщины изоляционного покрытия $\delta_{ип}$:

$$\delta_A = \delta_{обр} - \delta_{ип}. \quad (1.3)$$

Образцы № 1–6, представляют собой многослойный материал, коэффициент эквивалентной теплопроводности для которого определяется следующим образом:

$$\lambda_э = \frac{\delta_{ип} + \delta_A}{\frac{\delta_{ип}}{\lambda_{ип}} + \frac{\delta_A}{\lambda_A}} = \frac{\delta_{ип} + \delta_{обр} - \lambda_{ип}}{\frac{\delta_{ип}}{\lambda_{ип}} + \frac{\delta_{обр} - \delta_{ип}}{\lambda_A}}, \quad (1.4)$$

где λ_A – среднее значение коэффициента теплопроводности основы образцов – сплава алюминия, определенное на образцах № А1–А3 без покрытия.

Из (1.4) можно выразить коэффициент теплопроводности изоляционного покрытия $\lambda_{ип}$:

$$\lambda_{\text{ип}} = \frac{\delta_{\text{ип}}}{\frac{\delta_{\text{обр}}}{\lambda_3} - \frac{\delta_{\text{ип}}}{\lambda_A}}. \quad (1.5)$$

Результаты расчета коэффициента теплопроводности изоляционного покрытия представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Коэффициента теплопроводности изоляционного покрытия

Номер образца	Толщина изоляционного покрытия $\delta_{\text{ип}}$	Коэффициент теплопроводности изоляционного покрытия $\lambda_{\text{ип}}$
№	мкм	Вт/м·К
1	73 ± 0,7	18,0 ± 1,7
2	54 ± 0,5	24,6 ± 2,4
3	53 ± 0,5	26,7 ± 2,6
4	40 ± 0,4	30,2 ± 2,9
5	27 ± 0,2	33,9 ± 3,3
6	19 ± 0,2	46,5 ± 4,5
Среднее	44 ± 0,4	30,0 ± 2,9

Коэффициент теплопроводности керамического покрытия составляет в среднем 30±2,9 Вт/м·К при средней толщине 44±0,4 мкм. В последующих этапах выполнения магистерской диссертация планируются исследование других физических характеристик теплопроводящего материала и его последующая модификация.

ЛИТЕРАТУРА

1. Thermalinfo [Электронный ресурс].– Теплофизические свойства оксида алюминия – Режим доступа: <http://thermalinfo.ru/svoystva-materialov/oksidy/svoystva-okside-alyuminiya-al2o3-i-magniya-mgo> (дата обращения: 10.08.2017).
2. Тетерев А. Решение проблем теплоотвода // Электроника. – 2014. – С. 24–26.

БИФУРКАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ Понижающего Преобразователя Напряжения Постоянного Тока С Частотно-Импульсной Модуляцией

Т.Р. Сакавов, магистрант

*Научный руководитель С.Г. Михальченко, доцент каф. ПрЭ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф ПрЭ, temir94@mail.ru*

Моделирование систем преобразования энергии является важным этапом проектирования. Целью данного исследования является выявление режимов работы преобразователя постоянного тока с частотно-импульсной модуляцией.

По методике изложенной в [1] построена математическая модель исследуемого преобразователя. Функциональная схема преобразователя приведена на рис. 1.

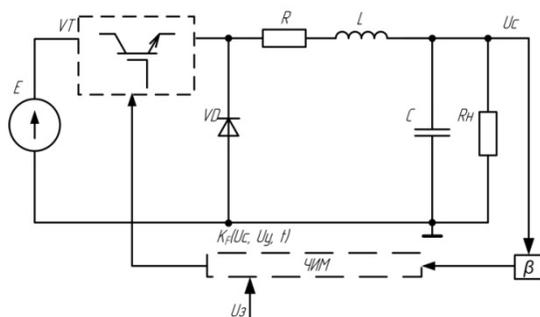


Рис. 1. Функциональная схема понижающего DC/DC преобразователя с ЧИМ

На рис. 2 графически показан пример выборки точек значений напряжения для построения бифуркационной диаграммы [2].

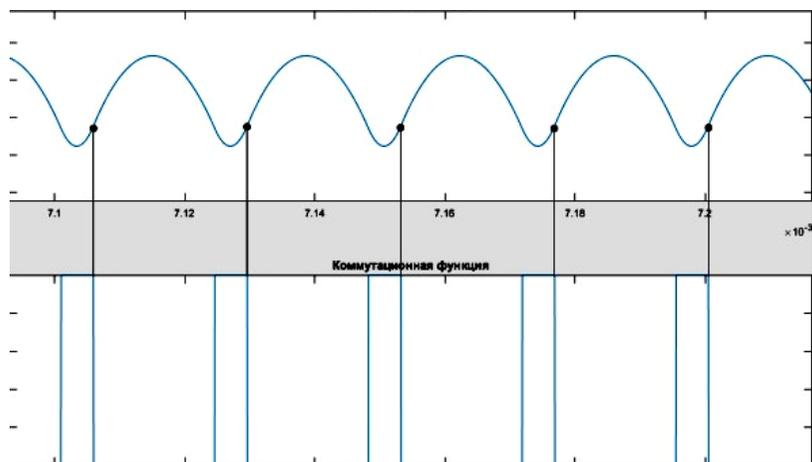


Рис. 2. Выборка точек для построения бифуркационной диаграммы

Построены бифуркационные диаграммы представляющие из себя зависимость состояний системы от варьируемого пропорционального коэффициента α .

Установившиеся режимы работы преобразователя в зависимости от пропорционального коэффициента α представлены на рис. 3 в виде бифуркационной диаграммы.

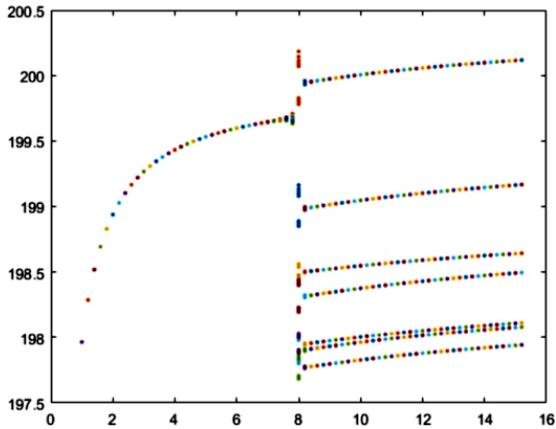


Рис. 3. Режимы работы стабилизатора напряжения и их представление на бифуркационной диаграмме

На рис. 3 можно выделить две зоны отражающие два режима работы преобразователя. Первая зона при параметре $\alpha < 8$, вторая при $\alpha \geq 8$.

На рис. 4 приведены диаграммы напряжения и управляющие импульсные последовательности генерируемые модулятором в установленном режиме, в первой и во второй зоне параметра α .

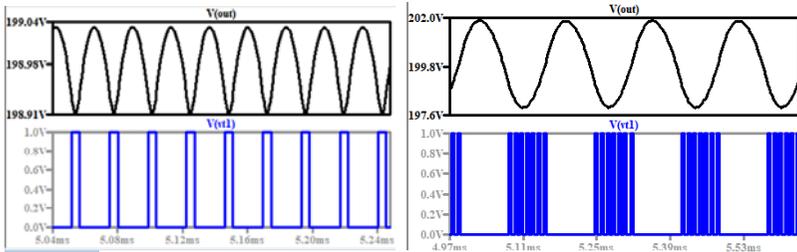


Рис. 5. Установившиеся режимы стабилизатора напряжения при $\alpha = 2$ и $\alpha = 16$ соответственно

Для $\alpha = 2$ (первый режим) характерна постоянная, единственная частота работы модулятора. При $\alpha = 16$ (второй режим) управляющая последовательность разбивается на пакеты импульсов, что можно объяснить тем, что повышение коэффициента α увеличивает чувствительность обратной связи и малые отклонения выходного сигнала приводят к высокочастотной реакции передачи энергии с входного источника в фильтр и нагрузку. При относительно малых значениях

нагрузки возникает ситуация когда количество переданной энергии излишне и для рассеяния этой энергии проходит некоторое время в течение которого модулятор не работает. Таким образом модулятор образует пакеты управляющих импульсов, которые отстоят друг от друга на равные промежутки времени.

На основании проведенного исследования можно сделать вывод, что преобразователь с ЧИМ обладает двумя режимами работы в зависимости от пропорционального коэффициента управления α и величины нагрузки, причем первый режим характеризуется малыми пульсациями выходного сигнала и единственной частотой управляющего воздействия. Во втором же режиме пульсации напряжения заметно больше, и управляющая последовательность разбивается на пакеты импульсов, т.е. содержит широкий спектр частот.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михальченко Г.Я., Михальченко С.Г., Математические модели импульсных систем преобразования энергии: монография – Томск: Изд. ТУСУР, 2013. – С. 38–44.

2. Кобзев А.В., Михальченко Г.Я., Андриянов А.И., Михальченко С.Г. Нелинейная динамика полупроводниковых преобразователей. – Томск: Изд. ТУСУР, 2007. – С. 96–102.

МАЛОМОЩНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДРАЙВЕРА ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА

В.А. Шарыгин, студент

Научные руководители В.А. Кабиров, зав. лаб. ГПО каф. ПрЭ

В.Д. Семенов, проф. каф. ПрЭ

г. Томск, ТУСУР, каф. ПрЭ, slava.sharygin@mail.ru

Необходимо было разработать маломощный источник питания драйвера на дискретных элементах обладающим, более низкой стоимостью и такими же характеристиками как у его аналогов. А именно наличие гальванической развязки в виде трансформатора на 100 В, сам трансформатор должен быть выполнен по планарной технологии, всё устройство должно помещаться на печатной плате размерами $0,9 \text{ см}^2$, в корпусе 1 см^3 , входное напряжение 15 В, выходное напряжение 15В, выходная мощность не менее 1 Вт, КПД должно быть не меньше чем у ближайших аналогов 60–80%. Необходимость реализации на дискретных элементах объясняется тем что маломощный источник питания драйвера планируется использовать в военной и космической аппаратуре.

После результатов, полученных в литературе [11] мною была реализована разводка печатной платы в программе Altium Desugner подтверждающая, что все компоненты умецаются на двусторонней плате размером 0,9 см². Трансформатор предполагается размещать на обратной стороне печатной платы, а все остальные компоненты схемы преимущественно на переднем плане.

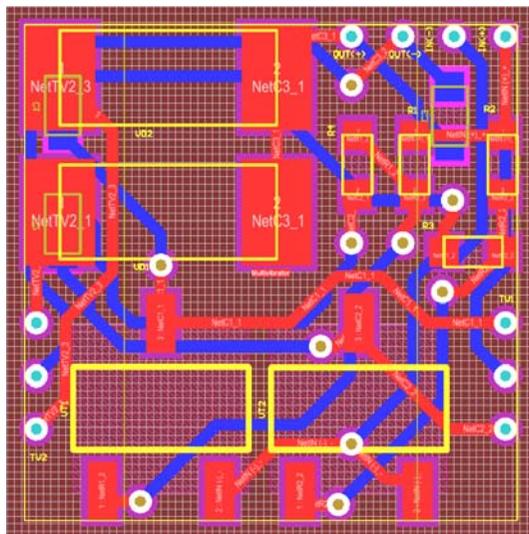


Рис. 1. Эскиз печатной платы малоомощного источника питания драйвера полевого транзистора

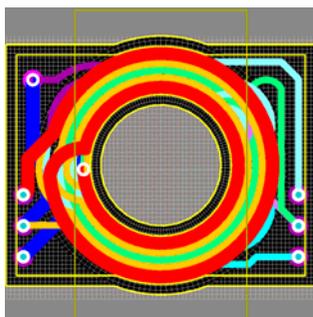


Рис. 2. Эскиз печатной платы обмоток трансформатора малоомощного источника питания драйвера полевого транзистора

Следующим этапом был спроектирован корпус готового устройства в программе SolidWorcs, представленный на рис. 2.

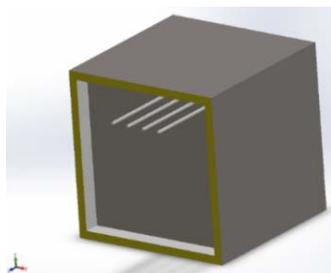


Рис. 3. Внешний вид маломощного источника питания драйвера полевого транзистора

В таблице приведен расчет стоимости компонентов необходимых для сборки исследуемого маломощного источника питания драйвера. Данные предоставлены на 15.12.2017.

Оценка стоимости компонентов маломощного источника питания драйвера полевого транзистора

Название, марка, корпус	Количество	Цена (руб./шт.)
Транзистор (BC817-25) (SOT-23)	2	0,88
Резисторы (56 кОм +/- 1%) (0402)	2	0,62
Резисторы (1.2 кОм +/- 1%) (0402)	2	0,62
Конденсаторы (220 пФ +/- 5 %) (0402)	2	0,56
Конденсатор (1 мкФ +/- 10%) (0402)	1	0,74
Диоды (MURS120) (DO-214AA)	2	5,28
Сердечник (Epcos) (ER9.5/5, N87)	1	28,55
ИТОГО		45,21

В ходе работы был произведена разводка печатной платы и спроектирован корпус готового устройства, габариты которого умецаются в заданные техническим заданием параметры 10×10×10 мм, обладает простотой реализации на дискретных элементах, была реализована гальваническая развязка в виде трансформатора планарного типа, стоимость всех компонентов составляет не более 50 руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005. – 632 с.
2. Мелешин В.И., Овчинников Д.А. Управление транзисторными преобразователями электроэнергии. – М.: Техносфера, 2011. – 576 с.
3. Вторичный источник питания компании Aimtec, Техническая документация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.compel.ru/series/AIMTEC/AM1D-Z> (дата обращения: 17.12.17).

4. Вторичный источник питания компании TDK-Lambda, Техническая документация [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.compel.ru/series/TKD-Lambda/CC1R5-E-DIP> (дата обращения: 17.12.17).
5. Вторичный источник питания компании Texas Instruments, Техническая документация [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.compel.ru/series/TexasInstruments/DCP011515DB> (дата обращения: 17.12.17).
6. Вторичный источник питания компании TRACO, Техническая документация [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.compel.ru/series/TRACO/TMA1515S> (дата обращения: 17.12.17).
7. Вторичный источник питания компании PEAK Electronics, Техническая документация [Электронный ресурс]. <https://www.compel.ru/series/PEAKElectronics/PSD-1215ZLF> (дата обращения: 17.12.17).
8. Сердечник Epcos ER9.5/5, Техническая документация [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://en.tdk.eu/inf/80/db/fer/er_9_5_5.pdf (дата обращения: 17.12.17).
9. Феррит Epcos N87. Техническая документация [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://en.tdk.eu/download/528882/3226013b0ed82a6a2af3666f537cbf83/pdf-n87.pdf> (дата обращения: 17.12.17).
10. Многослойные печатные платы, Техническая документация [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.pselectro.ru> (дата обращения: 17.12.17).
11. Шарыгин В.А. Исследование маломощного источника питания драйвера. – Томск: ТПУ / Междунар. конф. «Перспективы развития фундаментальных наук», 2018.

ПОДСЕКЦИЯ 2.5

ОПТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАНОФОТОНИКА И ОПТОЭЛЕКТРОНИКА

*Председатель – Шарангович С.Н., проф., зав. каф. СВЧуКР,
к.ф.-м.н.;*
зам. председателя – Перин А.С., доцент каф. СВЧуКР, к.т.н.

ВЛИЯНИЕ ЦВЕТА ТЕСТ-ОБЪЕКТОВ НА ОТКЛИК ОПТОЭЛЕКТРОННОЙ ОХРАННОЙ СИСТЕМЫ

Р.Р. Габдрахимова, Н.Я. Бикбердина, студенты

*Научный руководитель М.П. Бороненко, доцент каф. ФОТД, к.т.н.
г. Ханты–Мансийск, ЮГУ, каф. ФОТД, MarinaB7@yandex.ru*

Как известно, эффективность применения биометрии для систем идентификации крайне велика, т. к. позволяет точно установить личность, и вероятность ошибки составляет не более 0,1% [1, 2]. За последние 10 лет существенно увеличилось количество различных биометрических параметров, используемых для идентификации. К основными методами распознавания можно отнести три биометрических метода, применяемых в настоящее время на практике:

- распознавание по отпечатку пальца (относится к контактным методам, ничего не сообщает об эмоциональном состоянии);
- распознавание по изображению лица (бесконтактный метод, позволяет распознать эмоциональное состояние, однако эмоции научились скрывать различными методами);
- распознавание по радужной оболочке глаза (бесконтактный метод, ничего не говорит об эмоциональном состоянии, но позволяет идентифицировать человека);

Идентификация по голосу, лицу, руке, глазу в сумме превосходит классические системы идентификации по отпечатку пальца. Более совершенные системы видео-наблюдения должны не только осуществлять автоматическое сканирование лиц людей с последующей идентификацией их в базе МВД, но и анализировать эмоциональное состояние человека. Системы безопасности по определённым маркерам должны выявлять тех, кто собирается совершить преступление.

При разработке таких систем исследователи в подавляющем большинстве нацелены на применение мимических биометрических данных. Уже сейчас есть определенные подходы, теоретические разработки, уже научились идентифицировать базовые эмоции. Для технологии распознавания и обработки изображений используется алгоритм поиска распознавание поведения и эмоций человека [3–5]. Используя результаты измерения скорости и амплитуды реакции зрачка на свет, можно установить, употреблял ли человек наркотики или алкоголь. Известно, что биохимическая реакция зрачка на испытываемые эмоции однозначна. Чтобы использовать этот факт нужно осуществить переход от пассивных биометрических систем безопасности к активным. Активные системы основаны на оценке реакции зрачка на тест-объект. Тест-объект может быть звуковым или визуальным раздражителем. Результат распознавания не должен зависеть от таких факторов, как освещение, фон, угол наклона камеры, количество, половая и расовая принадлежность, а также возраст людей, находящихся в кадре. Сам тест-объект не должен вызывать никакой иной реакции зрачка, кроме реакции, обусловленной эмоциями. В статье представлены первые результаты исследования влияния цвета тест-объектов на реакцию зрачка.

Приборы и методика эксперимента. Наличие в оптических охранных системах тест-объектов предусматривает зрительное получение информации человеком. Зрительное восприятие изображения объектов на различных устройствах отображения информации (кинескопах, индикаторных панелях и др.) можно разделить на три стадии: обнаружение, различение и распознавание [6–15]. На практике при решении различных задач проектирования обычно ограничиваются двумя понятиями: обнаружения и распознавания. Зрительное восприятие изображения зависит от ряда независимых показателей: угловых размеров изображения объекта или его деталей, уровня адаптирующей яркости, контраста между изображениями объекта и фона, времени восприятия изображения и его зашумленности. Так же на процессы обнаружения и распознавания объекта наблюдения непосредственно влияет контрастная чувствительность зрения.

Угловой размер изображения объекта определяется как угол между лучами, направленными от глаз человека к крайним точкам изображения. Угловой размер определяют по формуле:

$$\alpha = 2 \arctg \left(\frac{l}{2H} \right),$$

где l – линейный размер изображения объекта; H – расстояние от глаз до плоскости наблюдения.

Расстояние до экрана рекомендуется [26] выбирать в пределах $H = (4 \div 5) * h$, где h – высота раstra на экране кинескопа. Мониторы с диагональю 20–21 дюйм обеспечивают стандартные экранные разрешения 1280×1024, 1600×1200, 1600×1280, 1920×1200, 1920×1600 точек. Расстояние между соседними точками люминофора у качественного монитора составляет 0,22–0,25 мм. Размеры «тест-объектов» – изображений на экране варьировались от 1–20 см. Исходя из вышесказанного, рекомендуемое расстояние до тест-объектов не превосходит 0,75 м. При использовании тест-объектов в биометрических охранных системах необходимо, чтобы дополнительное освещение экрана не вносило искажения в измерения. Были проведены лабораторные исследования влияния освещенности от экрана на размеры зрачка. Результаты исследований представлены на рис. 1. Экран монитора размещали так, чтобы угол падения оптического излучения монитора на сетчатку составляло 0° . Человек располагался первоначально на расстоянии 0,75 м. Элементарными тест-объектами служили пустые слайды, фон которых менялся каждые 10 с (верхний график на рис. 1). После 10 пустых слайдов шли слайды с изображением животных и насекомых. Во всех случаях отмечена существенная зависимость размеров зрачка от цвета слайда. Для устранения этого недостатка экран переместили на расстояние 1 м. Результаты измерений представлены на нижнем графике.

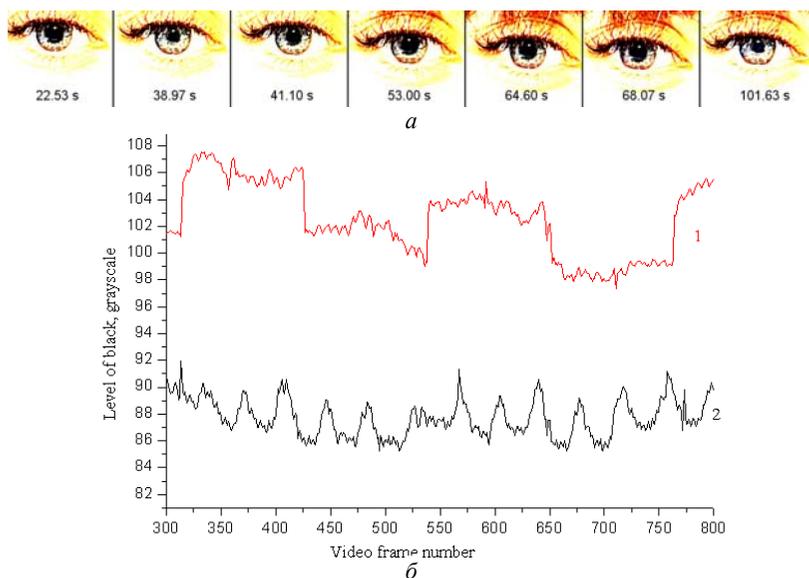


Рис. 1. Реакция зрачка на цвет тест-объекта: *a* – последовательность видеок кадров; *б* – тест-объект расположен от глаза – 0,75 м (1) и 1 м (2)

Необходимо отметить, что все резкие увеличения уровня серого на графике 2 (глаза на расстоянии 1 м от тест-объекта) соответствуют моменту моргания. Известно, что при нормальных визуальных условиях глаз моргает через каждые несколько секунд, примерно 15 раз в минуту. Так как видеосъемка велась с частотой 30 fps, то из графика очевидно, что частота моргания увеличилась, хотя не превзошла норму. По мнению Стерна и Строка (Stern & Strock, 1987), моргание имеет место тогда, когда потребность в визуальной информации минимальна. Поэтому стоит предположить, что повторный просмотр одних и тех же тест-объектов для человека не представляет интереса. Так же видно, что, как и следовало ожидать, влияние различной яркости тест-объектов практически не вызывает искажений измеряемой реакции зрачка.

Основные результаты и выводы. Новые биометрические технологии, использующие объемный пульс (3D-pulse) и виброизображение (VibroImage) позволяют получать более 10 млн. информативных отсчетов в секунду о психофизиологическом состоянии человека. Такие системы могут быть использованы для построения биометрических систем третьего поколения, одновременно в течение 10 секунд осуществляющих идентификацию личности и тестирование мыслей пользователя. В ходе проведенных исследований было установлено, что дополнительную погрешность, вносимую цветностью тест-объектов можно устранить путем увеличения расстояния. Разрабатываемая оптоэлектронная биометрическая система распознавания может стать хорошим дополнением к системам третьего поколения.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-08-01475 А.

ЛИТЕРАТУРА

1. Погодин А.А. Разработка учебного стенда системы видеонаблюдения // Проблемы правовой и технической защиты информации. – 2015. – С. 96–97.
2. Векилов Т.Э. Видеонаблюдение как инструмент обеспечения безопасности и управления на транспорте // Автоматизация в промышленности. – 2017. – Т. 2. – С. 45–48.
3. Надвоцкая В.В., Шундеев И.С. Особенности проектирования систем безопасности с учетом масштабирования / Матер. XVII Междунар. науч.-техн. конф. «ВИС-2016», Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та. – 2016. – С. 260–262.
4. Хрящев В.В., Храбров Д.Е., Казина Е.М. Выбор наилучшего лица. Алгоритм распознавания объектов // Вестник МГСУ. – 2012. – № 5.
5. Полещук О.В., Яровенко В.В. Получение информации с систем видеонаблюдения и видеорегистраторов // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании. – 2013.

6. Гонта А. Проектирование систем видеонаблюдения / Алгоритм безопасности. – 2008. – №1 (точка доступа 22.01.18. <http://securhelp.ru/Proektiro-vanie.html>)
7. Варлатая С.К., Рудных Н.С., Лужин В.М. Биометрические данные как способ идентификации личности // Молодой ученый. – 2016. – №7. – С. 49–51. – URL <https://moluch.ru/archive/111/27402/> (дата обращения: 20.01.2018).
8. Shleymovich M. P. К вопросу о бесконтактном определении физиологического состояния человека // Научно-методический и информационный. – 2015. – Т. 1. – С. 13.
9. Бекмурзин М.С., Захаров В.П., Зачек О.И. Биометрические технологии в антитеррористической деятельности правоохранительных органов: перспективы и проблемы использования // Вестник Моск. ун-та МВД России. – 2014. – № 10.
10. Panksepp J. Affective neuroscience: The foundations of human and animal emotions. – Oxford university press, 2004, Блог компании Neurodata Lab.
11. Брагина Е.К., Егоров И.Э. Повышение защищенности информации от нсд с использованием биометрической аутентификации // Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2017).
12. Векилов Т.Э. Видеонаблюдение как инструмент обеспечения безопасности и управления на транспорте // Автоматизация в промышленности. – 2017. – Т. 2. – С. 45–48.
13. Shleymovich M.P. К вопросу о бесконтактном определении физиологического состояния человека // Научно-методический и информационный. – 2015. – Т. 1. – С. 13.
14. Немов Р. Психология. – Litres, 2017.
15. Грязин Г. Основы и системы прикладного телевидения. – Litres, 2017.

КАНАЛЬНЫЕ ВОЛНОВОДНЫЕ СТРУКТУРЫ, ОПТИЧЕСКИ ИНДУЦИРОВАННЫЕ В КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ С УЧЕТОМ ВКЛАДА ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Т.Л. Григорян, Б.М. Будаев, студенты

*Научный руководитель А.С. Перин, доцент каф. СВЧуКР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. СВЧуКР, perin.anton@gmail.com*

Развитие лазерной техники во многом определяется возможностями тех материалов, на основе которых создаются квантовые генераторы и системы управления оптическим лучом. Одной из важнейших групп таких материалов являются диэлектрические кристаллы. За многие годы развития квантовой оптики в качестве сред для генерации и управления характеристиками оптического излучения (преобразования частоты, фазы, интенсивности и направления распространения оптических волн) были опробованы сотни кристаллов [1, 2]. Од-

ним из таких кристаллов является сегнетоэлектрический кристалл ниобат лития.

Актуальными задачами современной фотоники и нелинейной оптики, являются преобразование пространственной структуры светового поля и возможность формирования фотонных волноводных элементов сложной топологии в кристаллических материалах, обладающих электрооптическими, сегнетоэлектрическими и нелинейно-оптическими свойствами [2]. Эффективность таких преобразований зависит от интенсивности света [3] и температуры образца [4]. Целью данной работы является экспериментальное исследование канальных волноводных структур, оптически индуцированных в кристалле ниобата лития с учетом вклада пьезоэлектрического эффекта.

В экспериментах использовался нелегированный кристалл ниобата лития с размерами $4 \times 10 \times 4$ мм³ вдоль осей X , Y , Z соответственно. Поляризация света соответствовала необыкновенной волне в кристалле. Источником излучения являлся твердотельный лазер YAG:Nd^{3+} с удвоением частоты (длина волны света $\lambda = 0,532$ мкм и выходная мощность излучения до 50 мВт). Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

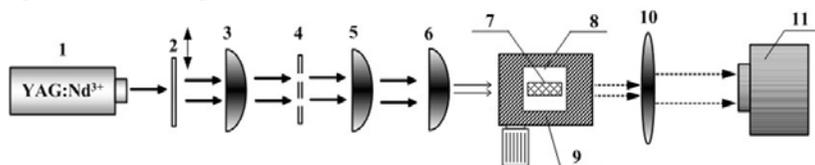


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – источник лазерного излучения (YAG:Nd^{3+} лазер, $\lambda = 532$ нм), 2 – дифракционная решетка, 3, 5 – коллимирующие линзы, 4 – диафрагма, 6 – микрообъектив, 7 – образец LiNbO_3 , 8 – элемент Пельтье, 9 – трехкоординатный микрометрический столик, 10 – изображающая линза, 11 – анализатор лазерных пучков

Для формирования световых пучков заданного диаметра, распространяющихся в кристаллическом образце в параллельных направлениях, использовалась оптическая схема из амплитудной дифракционной решетки (2), пространственного фильтра (4), двух фокусирующих линз (3, 5) и микрообъектива (6). После дифракции на амплитудной решетке с помощью пространственного фильтра из светового поля выделялись дифракционные максимумы $+1$ и -1 порядков. Плоскость дифракции параллельна плоскости, в которой лежат оптическая ось кристалла и волновые векторы световых пучков. Фокусирующие линзы (3, 5) с фокусными расстояниями 26 и 28 см размещались на расстоянии $26+28$ см. С помощью варьирования фокусных расстояний

линзы (5) и микрообъектива обеспечивалось параллельное распространение световых пучков в образце, с требуемым диаметром световых пятен на его входной плоскости. Световые поля на передней (входной) и задней (выходной) поверхностях образца изучались с помощью анализатора лазерных пучков.

На рис. 2 показаны картины световых полей на входной и выходной гранях образца. Рисунок 2, б иллюстрирует, что в начальный момент времени поперечный размер световых пятен на выходной грани кристалла увеличивается. Это соответствует режиму линейной дифракции светового поля. Увеличение световой мощности до 190 мкВт приводит к индуцированию в освещенной области образца оптической неоднородности, обусловленной фоторефрактивным эффектом. Индуцированная оптическая неоднородность приводит к увеличению дифракционной расходимости светового пучка преимущественно в направлении оптической оси кристалла (рис. 2, в). Для компенсации как линейной, так и нелинейной дифракции светового пучка кристалл нагревался до температуры 35 °С. В результате поперечные размеры световых пятен на выходной плоскости кристаллического образца уменьшаются до их размеров на входной плоскости, что свидетельствует о достижении режима светлых пространственных солитонов (рис. 2, г). Время, необходимое для полной компенсации дифракции светового поля при указанных условиях экспериментов составляло от 19 до 30 секунд.

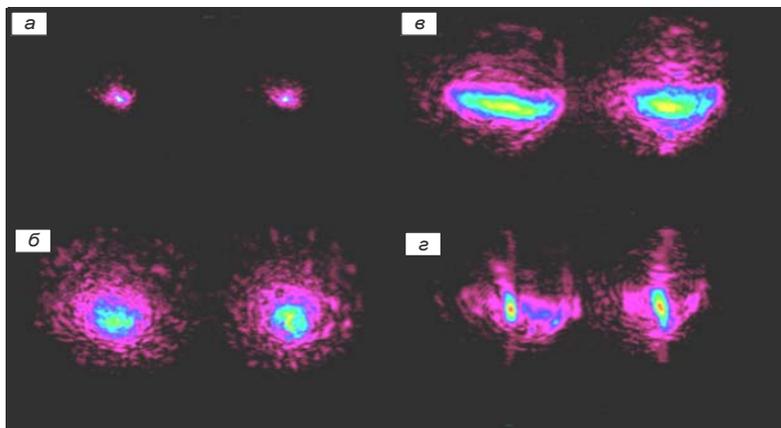


Рис. 2. Картины распределения световых полей на входной (а) и выходной (б) гранях кристалла в начальный момент времени в линейном режиме дифракции; (в) – картина светового поля на выходной плоскости образца и (г) – при нагреве кристалла

Одна из основных характеристик канальных волноводных структур представлена на (рис. 3). Временная зависимость расстояния между центрами световых пучков на выходной плоскости в процессе формирования канальных волноводных структур и иллюстрируют его влияние на степень взаимодействия.

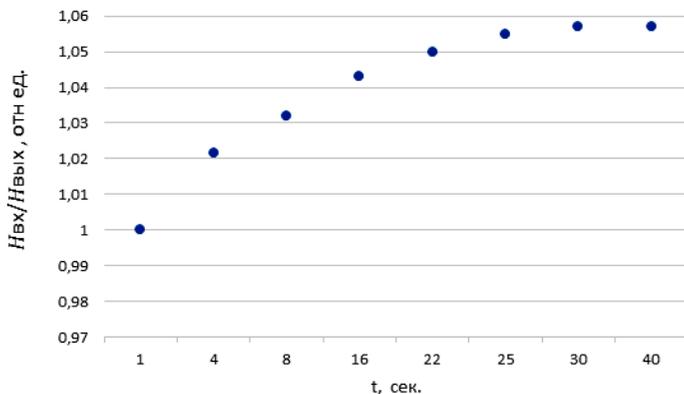


Рис. 3. Временная зависимость отношения расстояния между центрами световых пучков на входной ($H_{вх}$) и выходной ($H_{вых}$) плоскостях образца

Таким образом, в данной работе было исследовано формирование канальных волноводных структур, оптически индуцированных в кристалле ниобата лития с учетом вклада пироэлектрического эффекта в нелинейный отклик среды. Свойство притяжения и отталкивания светлых пространственных солитонов открывают возможности создания сложных канальных волноводных схем в подобных кристаллах.

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ (проект № 3.1110.2017/ПЧ).

ЛИТЕРАТУРА

1. Кившарь Ю.С., Агравал Г.П. Оптические солитоны. От волоконных световодов до фотонных кристаллов / Пер. с англ. Под ред. Н.Н. Розанова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 648 с.
2. Toshiaki S. Waveguide Nonlinear-Optic Devices / Toshiaki Suhara., Masatoshi Fujimura. – photorefractive-pyroelectric effect / S. Toshiaki, S.T. Popescu., A. Petris., V.I. Vlad // J.Appl. Phys. – 2013. – Vol. 11. – 320 p.
3. Popescu S.T. Recording of self-induced waveguides in lithium niobate at 405 nm wavelength by photorefractive-pyroelectric effect / S.T. Popescu., A. Petris., V.I. Vlad // J. Appl. Phys. – 2013. – Vol. 113. – Art. 213110.
4. Perin A.S. Photonic waveguide structures in photorefractive lithium niobate with pyroelectric mechanism of nonlinear response / A.S. Perin., V.M. Shandarov, V.Yu. Ryabchenok // Physics of Wave Phenomena. – 2016. – Vol. 24. – No. 1. – P. 1–4.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИФРОВЫХ ВОЛОКОННО- ОПТИЧЕСКИХ ЛИНЕЙНЫХ ТРАКТОВ

М.Н. Гаппарова, В.А. Осипов, студенты

Научный руководитель А.С. Перин, доцент каф. СВЧукР, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. СВЧукР, taftuna.gapparova@gmail.com

*Проект ГПО СВЧукР-1804 «Исследование цифровых
волоконно-оптических линейных трактов на основе
аппаратуры «Транспорт-30×4»*

В настоящее время волоконно-оптические системы передачи (ВОСП) имеют огромное значение в различных областях науки и техники. Существующие технологии построения сетей на основе ВОСП разнообразны – от выделенных удалённых линий связи до глобальных магистральных систем передачи данных. Для обеспечения эффективной работы ВОСП очень важным является вопрос определение и прогнозирование возникающих ошибок в процессе передачи сигнала по оптической линии. Не менее важным является и правильная конфигурация сети для эффективной передачи информации. Высокий коэффициент ошибок или неправильная конфигурация сети, обусловленная высокой информационной емкостью может привести к закрытию большого количества коммуникационных каналов.

Целью данной работы является разработка экспериментального стенда для исследования характеристик цифровых волоконно-оптических линейных трактов (ЦВОЛТ). В качестве аппаратуры была выбрана универсальная телекоммуникационная платформа ЦВОЛТ «Транспорт-30х4» [1], которая относится к классу волоконно-оптических систем передачи и предназначена для передачи 8 первичных цифровых потоков 2,048 Мбит/с (E1) между двумя или несколькими (до 16-ти) пунктами связи по одному или двум, одномодовым или многомодовым оптическим волокнам. В данной аппаратуре реализована возможность гибкого конфигурирования и организации каналов различных окончаний, как аналоговых, так и цифровых.

С помощью данной аппаратуры возможно экспериментально оценить вклад различных факторов, влияющих на качество передачи сигнала по оптическому волокну (ОВ), т.к. работа оптических цифровых систем связи считается нормальной только в том случае, когда коэффициент битовых ошибок (BER) не превышает определённый допустимый уровень, зависящий от используемого сетевого стандарта. Современные линии связи строятся так, чтобы удовлетворить любому сетевому стандарту. Поэтому при их расчёте и строительстве

закладываются достаточно жёсткие ограничения уровня ошибок (от $BER=10^{-11}$ до $BER=10^{-15}$).

На первом этапе проведения экспериментальных исследований были разработаны схемы включения аппаратуры для исследования влияния вносимого в линию затухания, шумового излучения и макроизгибов ОВ на коэффициент битовых ошибок.

В качестве источника затухания в эксперименте использовался оптический аттенуатор (ОА). В этом случае ОА подключался двумя патчкордами к передающему модулю одного полуконспекта аппаратуры и к приёмному модулю другого полуконспекта. Далее с помощью ОА создавалось затухание в линии, при котором происходил логический обрыв линии связи и аппаратура переходила в аварийный режим работы. Затем постепенно ослабляя уровень затухания на ОА, снимались значения BER.

Для исследования влияния макроизгибов использовались ОВ с витками вокруг цилиндров различного диаметра (2, 3, 7 см). Методика эксперимента заключалась в следующем: сначала оценивалось затухание на 1 виток ОВ вокруг цилиндра определённого радиуса. Далее, используя результаты экспериментов по исследованию затухания, рассчитывалось количество витков ОВ соответствующее минимальному значению BER которое все еще можно измерить. Затем с помощью ОА устанавливалось такое значение затухания, при котором включается аварийный режим работы аппаратуры. Постепенно распрямляя витки ОВ снимались показания значения BER.

Для исследования влияния шумов на приём наблюдаемого полуконспекта аппаратуры подавались шумовые сигналы. Для этого использовались оптические сигналы ослабленные аттенуатором, смешанные с основным потоком.

В результате проведения экспериментальных исследований были получены характеристики цифровых волоконно-оптических линейных трактов на основе аппаратуры гибкого мультиплексирования «Транспорт-30х4», с помощью которых можно оценить влияние шумов, макроизгибов, затухания на эффективность передачи оптического сигнала по ОВ. Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ (проект № 3.1110.2017/ПЧ).

ЛИТЕРАТУРА

1. Универсальная гибкая телекоммуникационная платформа «Транспорт-30х4» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lrtc.ru/index/1rtk> (дата обращения: 01.03.2018).

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИХ МОДУЛЯТОРОВ

*О.Т. Важинский, аспирант; Э.В. Комов, студент;
К.С. Важинская, аспирант; Н.И. Буримов, проф., д.ф-м.н.
Научный руководитель С.М. Шандаров, зав. каф. ЭП, д.ф-м.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ЭП, oleg_vazhinsky92@mail.ru*

Целью данной работы является разработка стенда для проведения лабораторной работы по исследованию электрооптического эффекта в электрооптическом модуляторе, основанном на кристалле KTiOPO_4 с целью повышения компетентности будущих специалистов.

Схема разработанного стенда для выполнения лабораторной работы представлен на рис. 1.

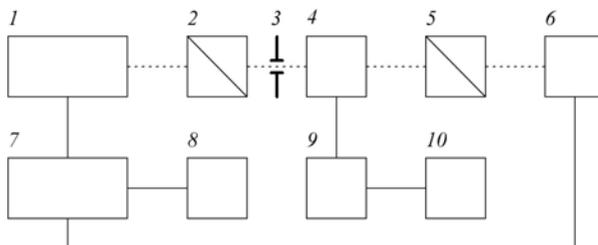


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – лазер, 2 – поляризатор, 3 – экран с миллиметровой разметкой, 4 – электрооптический модулятор, 5 – анализатор, 6 – фотоприемник, 7 – блок управления и питания, 8 – осциллограф, 9 – драйвер электрооптического модулятора, 10 – генератор

В качестве источника оптического излучения используется полупроводниковый лазер 1 (длина волны излучения 633 нм). Питание лазера осуществляется блоком управления 7. Поляризатор 2 задает линейную поляризацию излучения. Экран с миллиметровой разметкой 3 необходим для расчета угла отклонения оптической плоскости модулятора от нормали. Далее устанавливается электрооптический модулятор 4. К модулятору подключается драйвер 9. Управляющий сигнал на драйвер подается с генератора 10. Анализатор 5 служит для задания режима модуляции. Фотоприемник 6 регистрирует интенсивность лазерного излучения. Сигнал с фотоприемника усиливается блоком управления и измеряется осциллографом 8.

В работе использовался электрооптический модулятор, собранный по схеме с термокомпенсацией [3]. Электрооптический модулятор основан на высокоомном кристалле KTiOPO_4 и имеет габариты $6 \times 6 \times 20$ мм³. В эксперименте лазерное излучение распространялось

вдоль кристаллооптической оси X кристаллических элементов модулятора. Поляризация излучения составляла угол 45° с кристаллооптической осью Z . На рис.2 представлен график зависимости коэффициента контрастности электрооптического модулятора в режиме работы открытия полем от приложенного внешнего электрического поля.

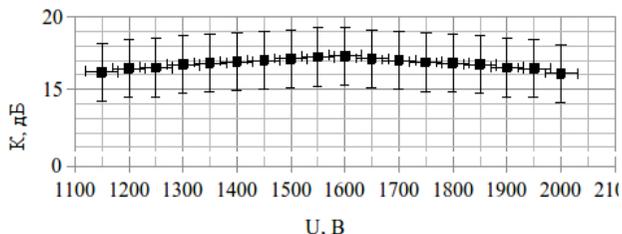


Рис. 2. Экспериментальные данные зависимости коэффициента контрастности электрооптического модулятора, работающего в режиме работы открытия полем от приложенного внешнего электрического поля

Как видно из экспериментальных данных в диапазоне значений напряжений от 1,15 до 2 кВ значение коэффициента контрастности изменяется незначительно в диапазоне от 16,1 до 17,3 дБ. Относительно невысокое значение коэффициента контрастности электрооптического модулятора объясняется отсутствием просветляющих покрытий на рабочих гранях кристаллических элементов для используемой длины волны излучения.

Максимальное значение коэффициента контрастности электрооптического модулятора удалось получить при приложении внешнего электрического поля (полуволнового напряжения), равного $(1,60 \pm 0,03)$ кВ. Расчетное значение данного значения составляет 741 В. Отличие в теоретическом и экспериментальном значениях полуволнового напряжения объясняется тем, что экспериментальное значение соответствует двойному приложению полуволнового напряжения.

Заключение. По результатам работы можно сделать следующие вывод: разработанный лабораторный стенд и методика могут быть использованы для внедрения в учебный процесс с целью повышения компетентности будущих специалистов, ввиду полноты и завершенности методики проведения работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 51036–97. Элементы электрооптические. Методы измерения электрооптических параметров. – Введ. 30.06.1997. – М.: Госстандарт России, 1997. – 26 с.

2. Ti Chuang. Application of KTP as an Electro-Optic Q-switch / Ti Chuang, Alan D. Hays and Haracio R. Verdun // Ti Chuang // OSA Proceedings on Advanced Solid-State Lasers, 1994. – Vol. 20.

3. Важинский О.Т. Температурная зависимость коэффициента контрастности электрооптических затворов, основанных на кристалле РКТР, для различных материалов корпуса и технологий сборки / О.Т. Важинский, К.С. Важинская, И.А. Паргачёв, Л.Я. Серебrenников, В.А. Краковский // Электронные средства и системы управления, ЭССУ–2015. – Томск: В–Спектр, 2015. – С. 177–181.

4. Официальный web–сайт компании «Eksma Optics» [Электронный ресурс] / «Eksma Optics» – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <http://eksmaoptics.com/nonlinear-and-laser-crystals/nonlinear-crystals/potassium-titanyl-phosphate-ktp-crystals-ktp-404/?listtype=search&searchparam=ktp>, свободный (дата обращения: 11.12.2017).

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ВОЛОКОН НА ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ С ДЛИТЕЛЬНЫМ СРОКОМ АКТИВНОГО СУЩЕСТВОВАНИЯ

К.В. Заичко, аспирант

*Научный руководитель С.Н. Шарангович, проф. каф. СВЧиКР,
к.ф.м.н. г. Томск, ТУСУР, каф. СВЧиКР, shr@tusur.ru*

Важнейшей характеристикой оптических волокон (ОВ), используемых в космических аппаратах (КА) с длительным сроком активного существования, являются оптические потери. Они определяют дальность связи по ОВ и его эффективность.

Целью данной работы является рассмотрение основных способов повышения радиационной стойкости оптического волокна и проведение сравнительного анализа стандартного и фотонно-кристаллического оптических волокон.

Основную роль в снижении качества передачи информации по ОВ в условиях космического пространства играют радиационные эффекты за счет воздействия на элементы ОВ протонов космических лучей и электронов, входящих в состав корпускулярного излучения Солнца и захваченных магнитным полем Земли. При воздействии данных излучений в волоконном световоде возникает радиационно-наведенное поглощение (РНП) света. Эффект РНП объясняется тем, что в материале световода образуются радиационные центры окраски (РЦО), поглощающие распространяющийся по ОВ свет [1].

Существует три механизма РНП, которые оказывают негативное влияние на распространение светового сигнала в ближнем ИК-диапа-

зоне. Уменьшение воздействия, которых и привело бы к повышению радиационной стойкости волокна.

Повышение радиационной стойкости световода можно достичь путём изменения химического состава легирующих примесей [2, 3].

Первый метод повышения радиационной стойкости волоконного световода на основе кварцевого стекла с сердцевиной из нелегированного кварцевого стекла осуществляется за счет его насыщения молекулярным водородом и облучения гамма-излучением. В процессе гамма-излучения атомы водорода подавляют возникновение РЦО. После облучения сетка стекла не содержит предшественников РЦО.

Второй метод основывается на технологии изготовления кварцевых световодов, легированных фтором, позволяющей снизить содержание атомов хлора в стекле (атомы более химически активного фтора замещают атомы хлора). Из-за малого количества хлора в сетке стекла сердцевины уменьшается влияние первого механизма РНП [4].

Использование одних легирующих примесей (германий) позволяет достичь профильного характера показателя преломления в ОВ, но приводит к возникновению дополнительных РЦО. Использование других легирующих примесей (водород, фтор) позволяет повысить радиационную устойчивость ОВ, но пагубно влияет на профиль показателя преломления.

Фотонно-кристаллические волноводы и волокна являются новым типом оптических волноводов. Их появление связано с созданием и исследованием новых оптических объектов – фотонных кристаллов [5].

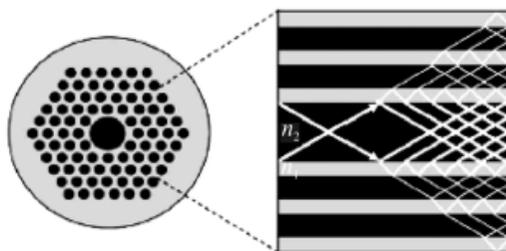


Рис. 1. Структура фотонно-кристаллического волокна и распространение в нем лучей [5]

Отличие данного типа волокна от стандартного заключается в том, что распространение света происходит не за счет изменения показателя преломления «сердцевина-оболочка», а за счёт продольных микроканалов наполненных газом (воздухом). Тем самым наличие воздушной прослойки в ФКВ обеспечивает отсутствие возникновения РЦО при воздействии ионизирующего излучения.

На данный момент в России такие ОВ производит ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания».

Применение таких волоконных световодов в условиях повышенного уровня ионизирующего излучения в космическом пространстве является перспективным и наиболее целесообразным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перминов С.В. Электромагнитные волны и электронные системы, 2003. – Т. 8. – № 9. – С. 40–44.
2. Иванов Г.А., Первадчук В.П. Технология производства и свойства кварцевых оптических волокон: учеб. пособие / Г.А. Иванов, В.П. Первадчук. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. – С. 127–135.
3. Onishi M., Kashiwada T., Ishiguro Y., Koyano Y., Nishimira N., Kanamori H. High-performance dispersion-compensating fibers // *Fiber and Integrated Optics*. – 1997. – Vol. 16. – P. 277–285.
4. Пат. 5267343 США МПК G02B 6/00, G02B 6/02, C03C 25/60; C03C 25/62 «Enhanced radiation resistant fiber optics», опубл. 30.11.1993 г.
5. Шумков Д.Б. Специальные волоконные световоды: учеб. пособие / Д.Б. Шумкова, А.Е. Левченко. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. – 178 с.

ПОДСЕКЦИЯ 2.6

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

*Председатель – Заболоцкий А.М., доцент каф. ТУ, к.т.н.
зам. председателя – Куксенко С.П., доцент каф. ТУ, к.т.н.*

ВЫБОР ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ПАССИВНОГО ПРОВОДНИКА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕГО В КАЧЕСТВЕ ДАТЧИКА КОНДУКТИВНЫХ ЭМИССИЙ

*А.С. Архипенко, магистрант; П.Е. Орлов, доцент, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, andrey_arhipenko_93@mail.ru,
blink_281@mail.ru*

С развитием и широким распространением электронных устройств различного применения все больше необходимо обеспечение их электромагнитной совместимости (ЭМС). В настоящее время, существует растущая угроза преднамеренного электромагнитного воздействия на электронику которое может привести к неисправности или выходу из строя электронного оборудования. Один из методов борьбы с электромагнитным воздействием основан на модальной фильтрации – использовании *модальных искажений* (изменений сигнала за счет разности задержек мод многопроводной линии передачи) за счет последовательного *модального разложения* импульса в отрезках связанных линий. Но данный метод имеет недостаток – это избыточность пассивного проводника, которая заставляет искать пути его использования. В [1] предлагается использование пассивного проводника как датчика кондуктивных эмиссий. Целью данной работы является выбор граничных условий пассивного проводника для использования его в качестве датчика кондуктивных эмиссий. Для этого было проведено квазистатическое моделирование структуры микрополосковой линии в системе TALGAT [2]. Моделирование проводилось без учета потерь в проводниках и диэлектриках.

На рис. 1, *a* изображено поперечное сечение структуры, геометрические параметры проводников $w = 1$ мм, $t = 105$ мкм, расстояние между проводниками $s = 0,5$ мм. Толщина подложки между проводниками и землей $h = 0,25$ мм, длинна диэлектрика $d = 6$ мм, диэлектрическая проницаемость подложки $\epsilon_r^* = 5$. Вокруг структуры ди-

электриком является воздух $\epsilon_r = 1$. На рис. 1, б показана принципиальная схема моделируемой структуры.

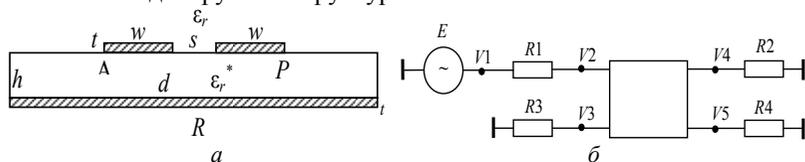


Рис. 1. Поперечное сечение структуры (а), принципиальная схема моделируемой структуры (б)

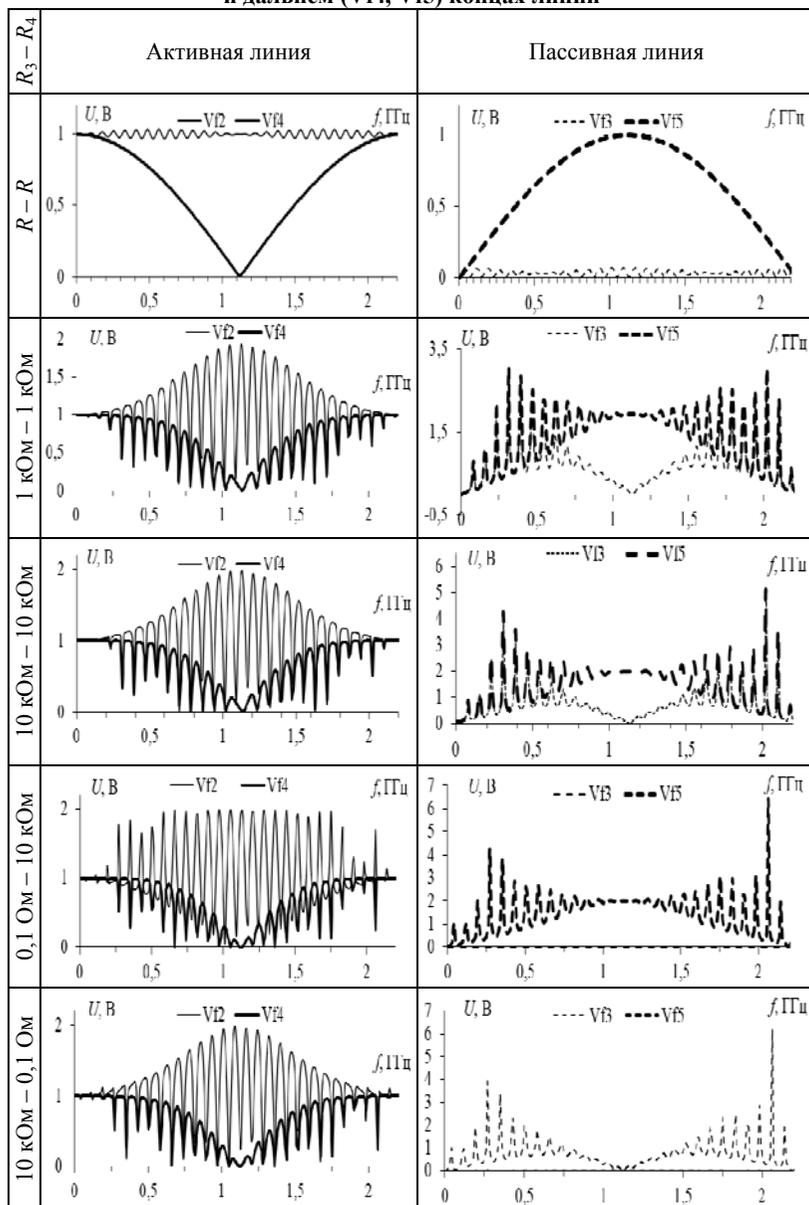
В таблице представлены частотные отклики на ближнем и дальнем концах активной и пассивной линий при разных граничных условиях, при условии, что активная линия находится в условии согласования и нагрузки на концах равны R .

В [3] был выполнен расчет резонансной частоты f_0 и сопротивления для согласования линии R , где $f_0 = 1,111$ ГГц, а $R = 27,7$ Ом. Примечательно то, что с изменением граничных условий на пассивном проводнике амплитуда сигнала увеличивается когда значения резисторов на концах равны 1 и 10 кОм, а при значениях резисторов равных 0,1 Ом амплитуда сигнала принимает значение равное 0. Из графиков в таблице видно что на резонансной частоте f_0 сигналы на ближнем и дальнем концах структуры находятся в противофазе. В откликах активной и пассивной линий наблюдается осцилляция сигнала с пиковыми значениями на частотах кратных $(2 \cdot \tau_0)^1$, это обусловлено тем что в данной структуре нечетная мода является доминирующей. Так же стоит отметить то что изменения граничных условий в пассивной линии влияют на АЧХ в активной линии и вносят искажения, что является фактором ухудшения модальной фильтрации на частотах кратных $(2 \cdot \tau_0)^1$, такое наблюдается во всех случаях кроме случая согласования структуры.

Исходя из полученных данных можно сделать вывод что осуществление детектирования с обоих концов активной линии возможно, когда на ближнем и дальнем концах пассивной линии стоят нагрузки 1 и 10 кОм, а в случае, когда детектирование требуется на ближнем или на дальнем конце линии то осуществляя короткое замыкание на одном из противоположных концов линии можно снимать сигнал в нужной точке.

Данное исследование, направленное на возможность реализации датчиков кондуктивных эмиссий необходимо провести при изменении не только граничных условий, но и изменяя геометрические параметры исследуемой структуры.

**Частотные отклики на ближнем (Vf2, Vf3)
и дальнем (Vf4, Vf5) концах линии**



ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов П.Е., Газизов Т.Р., Заболоцкий А.М. Новая концепция создания интегрированных датчиков для контроля электромагнитной обстановки в бортовой аппаратуре космического аппарата // Авиакосмическое приборостроение. – 2012. – № 5. – С. 20–23.
2. <http://talgat.org>
3. Архипенко А.С. Квазистатическое и электродинамическое моделирование структур связанных линий для исследования возможностей реализации датчиков кондуктивных эмиссий: выпускная квалификационная работа бакалавра. – ТУСУР, 2016.

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ КАРДИОСТИМУЛЯТОРОВ

А.В. Бусыгина, аспирант каф. ТУ
г. Томск, ТУСУР, bav-tusur@mail.ru

Кардиостимулятор представляет собой небольшое электронное устройство, которое имплантируется под кожу для регулирования сердцебиения [1]. Он состоит из генератора импульсов и одного или двух проводов с электродами, которые воздействуют на сердечную мышцу электрическими сигналами. Генератор представляет собой контроллер с батареей в герметичном титановом корпусе. В публикациях встречаются упоминания о сбоях в работе кардиостимулятора при воздействии на него электромагнитных излучений (ЭМИ). Кардиостимулятор является жизненно важным устройством, поэтому важно обеспечить его бесперебойную работу. Цель работы – представить обзор современных исследований в области электромагнитной совместимости и безопасности кардиостимуляторов.

Для кардиостимуляторов актуален вопрос влияния помех, создаваемых мобильными телефонами, на работу кардиостимулятора. В Японии под руководством Министерства внутренних дел проводились исследования по определению минимального безопасного расстояния между кардиостимулятором и устройствами беспроводной связи. Так, безопасным считается расстояние 22 см, но в некоторых случаях оно может быть увеличено до 75 см [2].

Диапазон рабочих частот кардиостимуляторов обычно составляет от 10 Гц до нескольких кГц, диапазон частот внешних устройств составляет от 125 кГц до 2,45 ГГц. Посторонние сигналы, обнаруженные в полосе пропускания чувствительного фильтра кардиостимулятора, могут привести к возникновению неисправностей или помех в его работе. В работе [2] описан метод смягчения электромагнитных

помех, основанный на «смягчении сигнала». В данном случае сигнал представляет собой радиочастотный (РЧ) сигнал, передаваемый в периоды простоя устройства беспроводной связи, не создавая помех в работе устройства. Этот сигнал подавляет низкочастотные шумы во внутренних схемах кардиостимулятора. Низкочастотные сигналы включают амплитудную модуляцию, импульсную модуляцию и периодические сигналы. Экспериментально подтверждено, что при использовании устройств, работающих на частоте 950 МГц с периодом 1 Гц и коэффициентом заполнения 0,5, максимальное расстояние помех без смягчающего сигнала составляет 71 см. Отмечено, что при смещении частоты в пределах 1 МГц, максимальное расстояние помех уменьшается в пределах 3 см. При фиксации частоты устройства на 450 МГц, период составляет 14 Гц с коэффициентом заполнения 1,7, при отсутствии сигнала смягчения максимальное расстояние помех составляет 18 см, а при частоте смягчения 4 МГц помехи не наблюдаются.

В работе [3] исследовались экранирующие свойства двух материалов (резиновый лист и резистивная пленка). Установлено, что экранирующие свойства резистивной пленки выше, чем у резинового листа. При этом их размер может колебаться в пределах площади, превышающей площадь самого кардиостимулятора, без изменения экранирующих свойств. Также отмечено, что экранирующий материал должен обеспечивать эффективность экранирования около 10-20 дБ при расстоянии менее 6 см между антенной и телом человека.

В работе [4] также исследовалось влияние электромагнитных помех, создаваемых устройствами радиочастотной идентификации (РЧИ) и считывателей ближнего поля, на кардиостимулятор. Считыватели РЧИ могут работать в трех основных частотных диапазонах: низкочастотные (НЧ) 125–134 кГц, высокочастотные (ВЧ) 13,56 МГц, и ультравысокочастотные (УВЧ) 856–960 МГц. В качестве доказательства наличия помех рассматривались любые изменения запрограммированных параметров кардиостимулятора, например, любое отклонение в интервале стимуляции, превышающее 10% от запрограммированного и любые непреднамеренные импульсы, полученные от кардиостимулятора. Авторами описана методика испытания кардиостимуляторов, состоящая из: определение амплитуды моделируемого сигнала путем повышения сигнала от 0 до точки, где кардиостимулятор способен его отслеживать, затем данное значение удваивается; фиксация активности кардиостимулятора в интервале 60 с до и после применения РЧ-сигнала, при этом РЧ-сигнал изначально устанавливался на максимально возможном для системы уровне, затем

снижался до прекращения нежелательных явлений. Установлено, что при внешнем УКВ воздействии мощностью до 2 Вт кардиостимулятор не дает никаких сбоев, но при увеличении мощности до 20 Вт два из десяти испытанных кардиостимуляторов показали нарушение своей деятельности. Возможно, это связано с тем, что использование входных фильтров не является обязательным для кардиостимуляторов. В основном современные кардиостимуляторы имеют фильтры, которые позволяют подавлять внешние сигналы на частотах выше 100 МГц, однако фильтрация становится менее эффективной при ВЧ воздействии и практически отсутствует при воздействии НЧ. Отмечается, что при воздействии НЧ-сигналов с напряженность поля 400 А/м зубцы ЭКГ не затрагиваются, однако влияние сигнала на ЭКГ видно.

Еще одним источником ЭМИ, представляющим угрозу для кардиостимулятора, являются электрические системы контроля, представляющие собой рамки [5]. Эти системы, так же как и устройства РЧИ и считыватели ближнего поля, основаны на связи передатчика с меткой, расположенной на предмете. В данной работе проводились измерения интенсивности полей на различном расстоянии от рамки. Так, в центре рамки при высоте 0 м от пола максимальная интенсивность составляет 1000 мГс, на высоте 0,5 м и 1 м интенсивность достигает значения 2000 мГс. При таких воздействиях кардиостимулятор осуществляет стимуляцию без отсылки к ритму сердцебиения.

В мировой науке большой интерес также вызывают вопросы безопасности человека при воздействии ЭМИ, в этой связи актуален вопрос о влиянии на организм кардиостимуляторов, расположенных непосредственно внутри него, и как кардиостимуляторы влияют на поглощение ЭМИ в области своего расположения.

В работе [7] исследовалось распределение поглощения электромагнитной энергии (SAR) вблизи кардиостимулятора в модели человеческого торса под воздействием излучения спиральной антенны 150 МГц. Обнаружено, что уровень SAR при наличии кардиостимулятора гораздо выше, чем при его отсутствии, и связано это с множественным отражением волны (от поверхности корпуса и от поверхности мышц).

Работа [6] показывает влияние расположения кардиостимулятора на величину и распределение SAR в месте его расположения. Так, эндокардиальное расположение кардиостимулятора вызывает рост максимальных значений SAR в 2 раза, вероятно, это связано с близостью к мышечной ткани, обладающей высокой проводимостью. При эпикардиальном расположении кардиостимулятора максимальные значения SAR повышаются лишь на 20% по сравнению со значениями SAR данной области тела без кардиостимулятора.

Главную роль в вопросе влияния ЭМ помех на кардиостимуляторы играет соединение между корпусом стимулятора и проводом электрода [8], т.к. в данном случае стимулятор выступает в качестве приемной антенны по отношению к волнам от мобильного телефона. В работе [8] проведен численный анализ SAR вокруг кардиостимулятора и его экспериментальное подтверждение с помощью метода термографии. ЭМ воздействие создавалось плоской перевернутой F антенной установленной на металлическом корпусе мобильного телефона третьего поколения. Антенна работала на частоте 2 ГГц с выходной мощностью 0,25 Вт. Исследование показало отличие в распределении SAR в модели торса с кардиостимулятором и без него.

Таким образом, обозначены основные направления исследований в области электромагнитной совместимости и безопасности имплантируемых кардиостимуляторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cruciani S. et. al. Numerical simulation of Wireless Power Transfer system to recharge the battery of an implanted cardiac pacemaker // Proc. of the 2014 Int. Symp. on Electromagnetic Comp. (EMC Europe 2014), Gothenburg, Sweden, September 1–4, 2014. – P. 44–47.
2. Kawamura Y. et.al. A novel method of mitigating EMI on implantable medical devices: Experimental validation for UHF RFID reader/writers // Proc. of 2009. IEEE Int. Symp. on Electromagnetic Comp., August 17–21, Austin, TX, USA. – 2009. – P. 197–202.
3. Wang J., Ohshima T., Fujiwara O. Effectiveness evaluation of shielding material for reducing electromagnetic interference of cardiac pacemaker by portable information terminals // Proc. of 2001 IEEE Int. Symp. on Electromagnetic Comp., August 13–17, Montreal, Que., Canada. – 2001. – P. 1054–1057.
4. Mattei E. et. al. Provocative Testing for the Assessment of the Electromagnetic Interference of RFID and NFC Readers on Implantable Pacemaker // IEEE Trans. on Electromagnetic Comp. – February 2016. – Vol. 58, No. 1. – P. 314–322.
5. Okumura T., Kojima K.. Effects of electromagnetic interferences on implantable cardiac pacemakers // IEEE 2nd Global Conf. on Consumer Electronics (GCCE). – 2013. – P. 59–62.
6. Akiyama R. et. al. FDTD calculations of SAR around an implanted cardiac pacemaker from wireless radio terminal // Proc. of 2016 URSI Asia-Pacific Radio Science Conf. – August 21–25, 2016: Seoul, Korea. – 2016. – P. 904–905.
7. Saito K. et. al. SAR analysis around an implanted cardiac pacemaker induced by EM wave of VHF band // ISAP2015. – 2015. – P. 1–2.
8. Watanabe R. et. al. SAR evaluations of mobile phone close to a pacemaker implanted in human body // 32nd Annual Int. Conf. of the IEEE EMBS: Buenos Aires, Argentina. August 31 – September 4, 2010. – P. 3839–3842.

ОБЗОР ИНТЕГРИРОВАННЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ИЗЛУЧАЕМЫХ И КОНДУКТИВНЫХ ЭМИССИЙ В ИНТЕРАЛЬНЫХ СХЕМАХ

К.А. Демчук, студент

Научный руководитель П.Е. Орлов, доцент каф. ТУ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, kirilldostar@gmail.com

В связи с постоянными техническими усовершенствованиями, интегральные схемы становятся все более и более компактными, сложными и быстродействующими. Сдерживающими факторами их развития становятся надежность и эффективность. Уже на этапе проектирования необходимо прогнозировать риски электрических сбоев, чтобы сократить затраты на модернизацию и время выхода готовой продукции на рынок [1]. Несмотря на то, что разработаны инструменты и методология прогнозирования [2], точные измерения помех в интегральная схема (ИС) всё ещё являются важной информацией для конструкторов, чтобы проверить модели и оптимизировать конструкции.

Цель работы – провести краткий обзор интегрированных датчиков для мониторинга излучаемых и кондуктивных эмиссий в ИС.

Для описания характеристик эмиссий в ИС, измерение является эффективным методом изучения переходных процессов, вызванных активностью цепей. В сравнении с внешними измерениями, которые ограничены диапазоном частот аналогового буфера КМОП (комплементарный металл–оксидный–полупроводник) и паразитных элементов межсоединений микросхемы и корпусов. Для проблем восприимчивости ИС, измерение в микросхеме является наиболее эффективным способом характеристики электромагнитной помехи (ЭМП), и их влияния на чувствительный узел схемы.

Синхронный датчик помех в микросхеме основан на последовательной выборке в эквивалентном масштабе времени [3]. В микросхеме цепь выборки и хранения напрямую исследует напряжение вдоль межсоединений цепи и работает в условиях субдискретизации. Его архитектура и принцип восстановления сигнала представлены на рис. 1. Входной импеданс датчика достаточно велик, чтобы обеспечить неинвазивность измерений. Обнаружение сигнала производится в течение нескольких возникновений воспроизводимых явлений (во время работы ИС), и только один отсчет берется при каждом случае.

Внешний сигнал синхронизации используется для того, чтобы инициировать выключение работы цепи для активации ячейки выборки и хранения (S/H). Команда выборки сдвигается от сигнала синхронизации с помощью элемента задержки. Временная разрешающая

способность восстановленной формы сигнала задается минимальным шагом задержки, в то время как его продолжительность устанавливается максимальной задержкой, создаваемой элементом задержки. Образцы хранятся на внешнем носителе для восстановления формы сигнала. Очень высокая виртуальная частота дискретизации может быть достигнута без серьезных ограничений на пропускную способность оборудования.

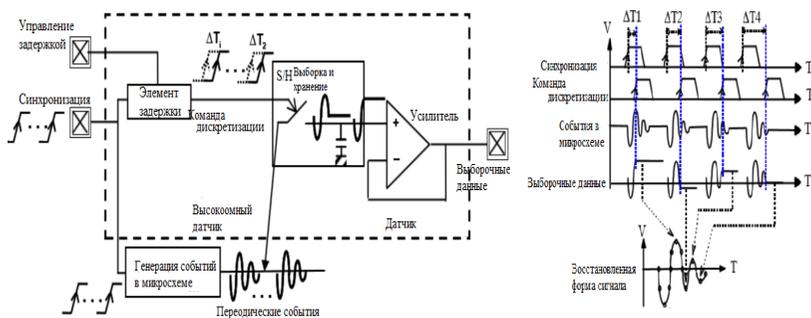


Рис. 1. Оригинальный синхронный датчик помех в микросхеме, архитектура и принцип последовательного контроля в эквивалентном масштабе времени

Несмотря на различные характеристики разрешения по времени, контролируемая цепь должна работать в специальном режиме. Генерируется воспроизводимое событие, поэтому шум, создаваемый во время штатного режима работы, не может быть определен. Для преодоления этой проблемы предлагается асинхронный датчик, использующий случайное получение выборки, чтобы предоставить ценную информацию о неперiodических сигналах.

По определению, характеристики ЭМП могут быть неизвестны (амплитуда, частота и форма сигнала). Форма сигнала восстановления ЭМП зависит от периодичности их повторения, которое возможно только тогда, когда характеристики помех известны заранее. Однако это условие не всегда гарантируется, поэтому сигнал дискретизируется случайными отсчетами и форма сигнала может быть не восстановлена. Асинхронный датчик помех в микросхеме использует одну и ту же архитектуру (что и синхронный), но работает в асинхронном режиме дискретизации. Как показано на рис. 2 случайная выборка позволяет извлекать функцию плотности распределения вероятности (ПРВ) амплитуды сигнала. Независимо от частоты входного сигнала, ПРВ амплитуды сигнала может быть правильно извлечена при условии, что S/H – элементы выходного усилителя не искажают или фильтруют дискретизированный сигнал.

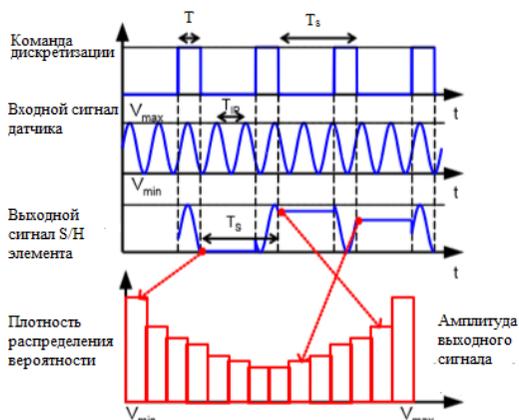


Рис. 2. Асинхронная выборка сигнала и извлечение ПРВ амплитуды сигнала

Таким образом, для проектирования важна точная информация о процессах в ИС. Внешние методики измерения не могут в полной мере предоставить необходимую информацию, так как они имеют сильные ограничения со стороны диапазона частот, сложной настройкой установки или стоимости. Реализация интегрированных решений может исключить данные ограничения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417 X0172.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dhia S.B., Ramdani M., Sicard E. Electromagnetic Compatibility of Integrated Circuits – Techniques for low Emission and Susceptibility. – Springer. – 2006.
2. Vrignon B., Bendhia S., Lamoureux E., Sicard E. Characterization and modeling of parasitic emission in deep submicron CMOS // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – May 2005. – Vol. 47, No. 2. – P. 382–385.
3. Schoenwetter H.K. Recent developments in digital oscilloscopes // 6th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. – April 1989.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ СХЕМЫ ЗАЩИТЫ БЛОКА ПИТАНИЯ ETHERNET КОММУТАТОРА

С.А. Доброславский, студент; М.В. Храпцов, магистрант

*Научный руководитель Заболоцкий А.М., профессор каф. ТУ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ТОР, sdobroslavskiy@mail.ru*

Защита электронных схем от перенапряжений является одной из задач при разработке электроники. Помехи имеют различную природу

и отличаются по уровню мощности. Когда выбирают концепцию защиты, первый вопрос, на который необходимо ответить, – обеспечит ли она защиту установок или оборудования. Ответ на этот вопрос будет зависеть от следующих факторов: важности защиты для данных установок или оборудования; следует отметить, что в некоторых случаях только часть оборудования должно остаться не пораженным; уровня стойкости оборудования в конкретных установках.

Эффективную защиту относительно других схем обеспечивают комбинированные схемы защиты. Комбинированные схемы защиты состоят из основного и вторичного защитного элементов или фильтра и содержат, по крайней мере, один последовательный элемент для развязки основного и вторичного компонентов. Первичный элемент играет роль защиты от перегрузок, а вторичный – ограничивает напряжение [1].

Цель работы – моделирование реальной комбинированной схемы защиты блока питания Ethernet коммутатора.

Фотография фрагмента платы со схемой защиты Ethernet коммутатора представлена на рис. 1. Элементы схемы защиты установлены на входе блока питания. На основе платы была построена принципиальная схема защиты (рис. 2), которая состоит из варистора FNR-20K181, керамического конденсатора MPX/Dain с ёмкостью 0,22 мкФ, двух резисторов (SMD типа) с сопротивлением 2,2 МОм и дросселя Is-13902-st.

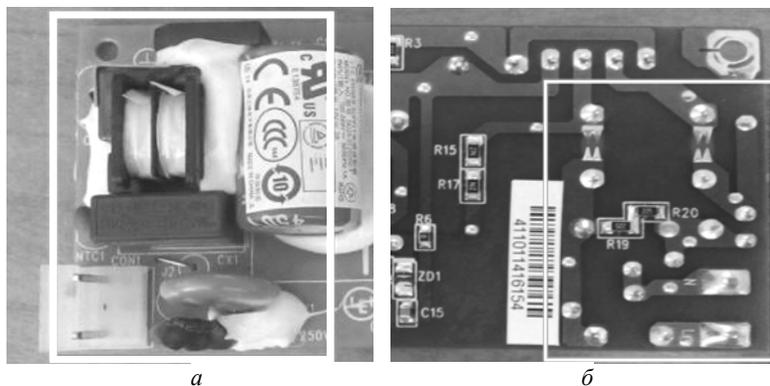


Рис. 1. Фотография фрагмента платы: вид сверху (а), вид снизу (б)

Вначале для схемы, представленной на рис. 3, была получена частотная зависимость вносимых затуханий (рис. 4). Получено, что полоса пропускания схемы для дифференциальной моды равна 17,5 кГц, частота среза $f_{cp} = 17,5$ кГц, максимальное затухание 4,5 дБ/окт.

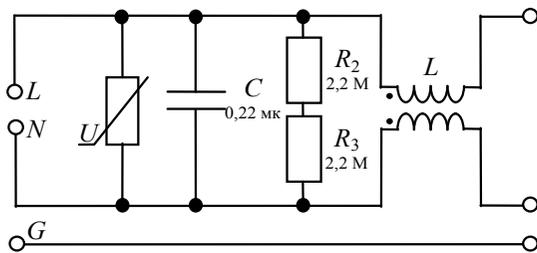


Рис. 2. Принципиальная схема фильтра

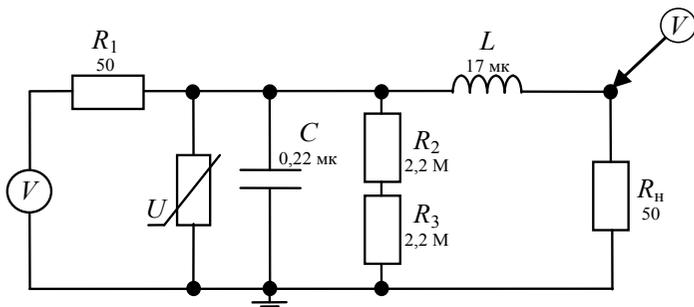


Рис. 3. Эквивалентная схема для дифференциальной моды

Затем на вход фильтра подавались сверхкороткие импульсы амплитудой 1000 В и длительностью по уровню 0,5: 30, 150, 300 пс. Формы сигналов на выходе фильтра представлены на рис. 5. Из них видно, что амплитуда сигнала на выходе может быть менее 5 мВ (для импульса длительность 30 пс).

Таким образом, выполнено моделирование реальной схемы защиты. Для неё получены частотные и временные характеристики.

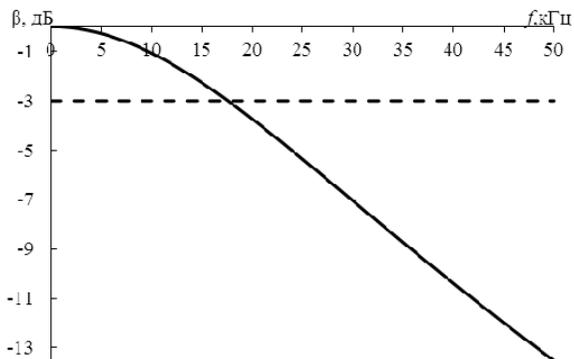


Рис. 4. Зависимость вносимых затуханий фильтра

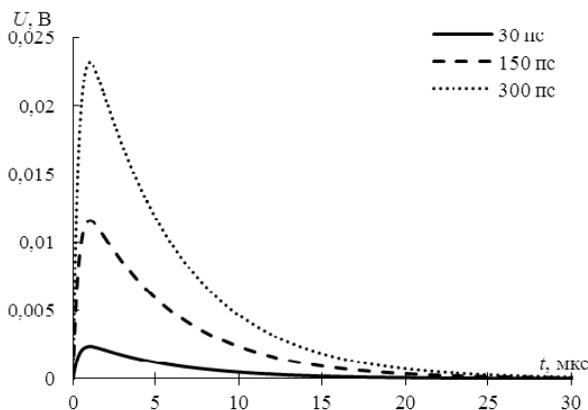


Рис. 5. Формы сигналов на выходе фильтра

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации №14.256.18.356МД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балюк Н.В., Кечиев Л.Н., Степанов П.В. Мощный электромагнитный импульс: воздействие на электронные средства и методы защиты. – М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. – 478 с.

АНАЛИЗ ПАРАЗИТНЫХ ВЗАИМОВЛИЯНИЙ В ЕМИ-ФИЛЬТРАХ: ОБЗОР

А.Т. Илияс, студент

Научный руководитель П.Е. Орлов, доцент каф. ТУ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, alihan.iliyas@gmail.com

При создании электронных систем большое внимание уделяется вопросам надежности и электромагнитной совместимости (ЭМС). Электромагнитные помехи (ЭМП) по классификации происхождения подразделяются как преднамеренные и паразитные, а по среде распространения на кондуктивные и излучаемые. В современном мире, технические средства (ТС) принимают непосредственное участие во многих процессах жизнедеятельности людей, и нарушения их функционирования, по причинам вредоносных влияний друг на друга на различных системных уровнях, могут нести угрозу для людей. Следовательно, появляется необходимость в защите ТС от паразитных взаимовлияний. В данной статье производится обзор паразитных взаимовлияний в ЕМИ-фильтрах, а также методов их снижения.

Цель работы – выполнить обзор паразитных взаимовлияний в ЕМИ-фильтрах.

В настоящее время при проектировании какого-либо ТС, производится тщательный схемотехнический анализ ЭМС-компонентов ТС. Применяются различные методы по снижению паразитных емкостных и индуктивных взаимовлияний. В работе представлены исследования паразитных взаимовлияний в ЕМИ-фильтрах, при помощи анализа эквивалентной схемы и экспериментов [1]. В фильтрах имеются два вида паразитных элементов. Первый – собственные паразитные элементы отдельных компонентов фильтра, другой – паразитное взаимодействие между отдельными компонентами фильтра. Влияние этих паразитных элементов существенно сказывается на работоспособности фильтра [2]. В данной работе фильтры имеют структуру С–L–С, включающую в себя фольговые конденсаторы, проходные конденсаторы и тороидальную катушку индуктивности. В С–L–С-фильтре, несколько типов конденсаторов необходимы для получения высокого ослабления в широком диапазоне частот. Установлено, что между входным и выходным конденсатором существуют два пути взаимодействия: первый – паразитное индуктивное взаимодействие между двумя резонансными цепями, которые образованы проходными конденсаторами и фольговыми конденсаторами.

Другой путь – паразитное емкостное взаимодействие между входным и выходным фольговыми конденсаторами. Эти паразитные взаимодействия приводят к изменению передаточной функции в верхнем диапазоне частот, что отрицательно влияет на работоспособность фильтра. Данные паразитные взаимодействия вызваны появлением паразитных элементов в отдельных компонентах схемы, а также паразитным взаимодействием между двумя резонансными схемами. Предложены два метода по снижению взаимовлияний: Первый – балансирование индуктивного и емкостного взаимодействия. Другой – резонансная частота входных конденсаторов должна быть отличной от резонансной частоты выходных конденсаторов. Первый метод реализуется за счет добавления дополнительного конденсатора. Балансирование индуктивного и емкостного взаимодействия реализуется за счет изменения емкости дополнительного конденсатора.

Второй метод реализуется за счет изменения емкости входного проходного конденсатора. Эти методы применимы только для фильтров с различными типами конденсаторов. Данные методы снижения взаимовлияний не требуют финансовых затрат и увеличения габаритов фильтра. Для реализации оптимальной конструкции фильтра использовались программы электромагнитного моделирования, при по-

мощи которых рассчитывались паразитные взаимовлияния, как отдельных компонентов, так и взаимовлияния между ними [3].

По проведенному обзору выявлены причины возникновения паразитных взаимовлияний в С–L–С ЕМI-фильтрах, а также приведены методы снижения данных взаимовлияний. Предложенные методы, позволяют снизить паразитные взаимовлияния в фильтре, не внося дополнительных финансовых затрат и увеличения габаритов фильтра, и хорошо применимы тогда, когда допустимы лишь минимальные структурные изменения ТС.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417 X0172.

ЛИТЕРАТУРА

1. Murata Y., Takahashi K., Kanamoto T., Kubota M. Analysis of parasitic couplings in EMI filters and coupling reduction methods// IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – December 2017. – Vol. 59, No. 6. – P. 1880–1886.

2. Weber S.P. Predicting parasitics and inductive coupling in EMI-filters / S.P. Weber, E. Hoene, S. Guttowski, W. John, H. Reichl // in Proc. IEEE 21st Annu. Appl. Power Electron. Conf. Expo. – Mar. 2006. – Vol. 1. – P. 1157–1160.

3. Masuzawa T. Modeling method of stray magnetic couplings in an EMC filter for a SiC solar inverter / T. Masuzawa, E. Hoene, K. Lang // in Proc. 2014 Int. Power Electron. Conf. – 2014. – P. 2366–2371.

ОБЗОР МЕТОДОВ И ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ПОТЕРЬ НА ИЗЛУЧЕНИЕ В ПОЛОСКОВЫХ ЛИНИЯХ

С.Х. Карри, студент каф. ТУ;

Р.С. Суровцев, доцент каф. ТУ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР salim96@list.ru

На сегодняшний день неотъемлемым этапом проектирования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) является обеспечение ее электромагнитной совместимости (ЭМС). Неучет требований ЭМС может привести к нарушению или даже выходу РЭА из строя. Поэтому на раннем этапе проектирования необходимо проводить тщательное компьютерное моделирование РЭА. Одной из важных задач ЭМС является защита РЭА от электромагнитных воздействий, в частности от сверхкоротких импульсов (СКИ) наносекундного диапазона, поскольку такие импульсы способны проникать внутрь РЭА минуя электромагнитные экраны и другие средства защиты. Недостатки традиционных устройств защиты не позволяют обеспечить должной защиты РЭА от СКИ. На практике требуется простота таких устройств, поэтому

предложен простой способ защиты РЭА от СКИ, основанный на использовании модальных искажений сигнала в меандровых линиях задержки на печатной плате [1]. Представленные результаты получены на основе метода моментов в рамках квазистатического подхода [2].

Для реальных межсоединений печатных плат свойственны потери и дисперсия. Основными являются потери в проводниках (могут быть вычислены на основе моделей из [3]), и диэлектрике (например, по модели А. Джорджевича [4]). Существует еще один вид потерь – потери на излучение, учет которых необходим при моделировании. Однако на данный момент нет однозначных подходов к оценке таких потерь. Между тем, учет таких потерь важен для более детального понимания искажения сигнала в меандровой линии. Поскольку виток меандровой линии представляет собой пару связанных линий, соединенных на одном конце, то к ним могут быть применены подходы, разработанные для микрополосковых линий на печатной плате. Несмотря на актуальность данных исследований систематизированного описания подходов к вычислению потерь авторам не известно. Поэтому цель данной работы – выполнить обзор методов и подходов к оценке потерь на излучения в полосковых линиях.

Наиболее близкой структурой к меандру является связанная микрополосковая линия, закороченная на одном конце. Так как излучение в таких линиях, в основном, вызвано неоднородностями, то известно описание метода вычисления потерь на излучение от неоднородностей микрополосковой структуры с использованием подхода на основе модели многополюсника [5]. В работе выполнено моделирование микрополосковой линии, при котором вычисляются токи в её отдельных участках, добавлением n портов. После вычисления результирующего магнитного поля вычисляются общие потери на излучение интегрированием вектора Пойнтинга каждого отдельного участка. В результате показано, что нельзя пренебрегать потерями на излучение на частотах в диапазоне 10–40 ГГц даже в хорошо согласованных линиях.

Метод линий передачи во временной области позволяет вычислять потери в проводниках и диэлектрике, но для учёта потерь на излучение во временной области её нужно дополнить с помощью метода интегральных уравнений из теории рассеяния [6]. Если рассматривать линию в качестве излучателя, то становится очевидно, что создаваемое электрическое поле связано с источником сигнала. Тогда используя напряжение падающей волны, найденное из теории линий передачи, можно получить выражение для расчёта потерь на излучение:

$$loss = \frac{u(t)}{\Gamma\left(\frac{1}{2}\right)} \sqrt{a} \frac{e^{-at}}{\sqrt{t}}. \quad (1)$$

Для нахождения потерь на излучение в линиях передачи с изгибом, каждая из линий разделяется на n отрезков (рис. 4) длиной Δ (при этом должно выполняться условие $\Delta/a \geq 8$, где a – угол изгиба), после чего, используя метод моментов, находится решение интегро-дифференциальных уравнений, полученных из уравнений Максвелла с учетом граничных условий [7].

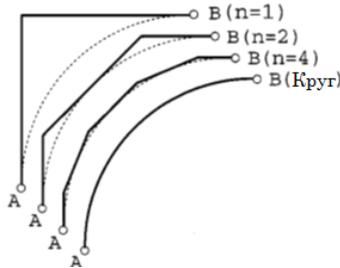


Рис. 4. Модели линий передачи с изгибом

Предполагается, что линия передачи является идеальным проводником. Это позволяет не учитывать потери на нагрев, которыми можно пренебречь. При этом потери на излучение, которые определяются, как отношение мощности потерь на излучение к мощности падающей волны находятся как:

$$\frac{P_{rad}}{P_{in}} = \frac{(1-|\Gamma|^2)P_{rad}}{(P_{rad} + P_{in})}, \quad (2)$$

где Γ – коэффициент отражения, P_{rad} – мощность потерь на излучение, P_{in} – мощность падающей волны. Данный подход накладывает ряд ограничений и не учитывает некоторые характеристики линии, такие как характеристическое сопротивление, вклад её отдельных участков и т.д. Поэтому метод был дополнен с использованием диполя Герца и метода бегущей волны [8], после чего выражение (2) может быть преобразовано к виду:

$$loss_i = 1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2,$$

где $loss_i$ – потери на излучение i -го участка линии, S_{11} и S_{21} – S -параметры линии.

В результате преобразования формулы потери на излучение всей линии можно вычислить интегрированием потерь от её отдельных

участков, что позволяет получить более точные результаты, по сравнению с выражением (2).

Таким образом, в работе представлено краткое описание основных особенностей ряда методов и подходов к оценке потерь на излучение в различных полосковых структурах. Следующим шагом является использование одного из подходов для оценки потерь в меандре и их влияния на разложение СКИ в нем.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417 X0172.

ЛИТЕРАТУРА

1. Surovtsev R.S. Possibility of Protection Against UWB Pulses Based on a Turn of a Meander Microstrip Line / R.S. Surovtsev, A.V. Nosov, A.M. Zabolotsky, T.R. Gazizov // *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. – 2017. – Vol. 59, No. 6, P. 1864–1871.
2. New developments for improved simulation of interconnects based on method of moments / S.P. Kuksenko, T.R. Gazizov, A.M. Zabolotsky et al. // *Advances in Intelligent Systems Research. Proc. of the 2015 Int. Conf. on Modeling, Simulation and Applied Mathematics (MSAM2015)*. – Phuket, Thailand, August 23–24, 2015. – P. 293–301.
3. Мусабаяев Р.Р. Алгоритм вычисления матрицы погонных сопротивлений многопроводной линии передачи // Матер. всерос. науч.-техн. конф. с международным участием студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2017». – Томск, 10–12 мая, 2017. – С. 68–71.
4. Djordjevich A.R. Wideband frequency-domain characterization of FR-4 and time-domain causality / A.R. Djordjevich, R.M. Biljic, V.D. Likar-Smiljanic, T.K. Sarkar // *IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility*. – Nov. 2001. – Vol. 43, No. 4. – P. 662–666.
5. Sabban A. Characterization of radiation loss from microstrip discontinuities using a multiport network modeling approach / A. Sabban, C.G. Gupta // *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* – 1991. – Vol. 39, No. 4. – P. 705–712.
6. Reineix A. Introduction of radiating losses in the time-domain transmission-line method / A. Reineix, B. Jecko // *Microwave and optical technology letters*. – 1994. – Vol. 7, No. 10. – P. 457–460.
7. Lee S. A study on the radiation loss from a bent transmission line / S. Lee, M. Hayakawa // *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. – 2001. – Vol. 43, No. 4. – P. 618–621.
8. Liu X. Prediction of radiation losses and emission from a bent wire by a network model / X. Liu, C. Christopoulos, D.W.P. Thomas // *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. – 2006. – Vol. 48, No. 3. – P. 476–484.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ КВ-РАДИОСВЯЗИ В СИСТЕМЕ ОПЕРАТИВНОГО РЕАГИРОВАНИЯ МЧС РОССИИ

Ю.Е. Ермакова, студентка; О.С. Каймонов, аспирант каф. ТУ

г. Томск, ТУСУР, julermakova@mail.ru

В сложившихся условиях мировой обстановки остро стоит вопрос предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС), вызванных причинами природного, техногенного, криминогенного и террористического характера.

Для решения указанных проблем создана Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС), основные цели которой заключаются в предупреждении возникновения и последующего развития ЧС, сокращении масштабов причиняемого ими ущерба, проведении комплекса мероприятий, направленных на ликвидацию ЧС. Одним из основных элементов систем управления РСЧС и гражданской обороны являются пункты управления (ПУ), которые создаются на всех уровнях управления [1].

ПУ подразделяются на стационарные и подвижные, размещенные на различных транспортных средствах. Первые, в свою очередь, подразделяются на: повседневные ПУ, функционирующие в местах постоянной дислокации органов управления в мирное время; запасные ПУ, предназначенные для обеспечения управления в особый период. К подвижным пунктам управления (ППУ) относятся специально оборудованные, технически оснащенные транспортные средства и другие элементы, предназначенные для обеспечения функционирования оперативной группы территориального органа МЧС России при проведении мероприятий по управлению аварийно-спасательными работами непосредственно в зоне ЧС. На ППУ возлагаются задачи по организации связи и управления из районов ЧС.

В составе ППУ выделяют три основных функциональных подсистемы: оперативно-штабную, информационно-телекоммуникационную и вспомогательного обеспечения. Возможности информационно-телекоммуникационной подсистемы позволяют организовать непосредственно из района ЧС: проводную связь (включая волоконно-оптическую связь); радиосвязь КВ- и УКВ-диапазонов; спутниковую связь (имеет особое значение при организации связи из районов ЧС, где отсутствует или слабо развита сеть связи общего пользования); радиорелейную связь (в том числе сотовую), сочетающую в себе свойства радио и проводной связи и используемую как для связи между пунктами управления, так и для привязки к узлам связи единой сети электросвязи РФ [2].

В условиях ЧС остро встает вопрос обеспечения функционирования системы управления оперативных служб. Поэтому возникает необходимость улучшения действующей системы связи и возрастает потребность в ее защите от электромагнитных воздействий, а также скачков напряжения.

Цель работы – освещение предложений по улучшению действующей системы связи для бесперебойного обеспечения функционирования системы управления оперативных служб.

В целях сокращения количества автомобилей и обслуживающего персонала на ПУ в РСЧС часто применяются ППУ, создаваемые по отдельному техническому заданию специально для реагирования в районах ЧС. Такие машины стоят в штатах территориальных органов РСЧС России и объединяют в себе оборудование для организации нескольких или всех перечисленных выше видов связи. В связи с тем, что такие машины являются комбинированными с большим количеством техники на борту, возникает необходимость учета влияния электромагнитных воздействий на приемно-передающую аппаратуру и обеспечения соответствия требованиям электромагнитной совместимости (ЭМС). В процессе эксплуатации для обеспечения ЭМС выполняется ряд мероприятий, основными из которых являются: установка антенно-фидерных устройств (АФУ) с максимально возможным разнесом их друг от друга; рациональное распределение и назначение частот; регламентация работы средств, установленных на объекте; строгое соблюдение режимов работы радиоэлектронных средств; поддержание режима работы устройств с минимальными мощностями.

Там, где отсутствуют подобные машины, используются штатные комбинированные радиостанции. Наиболее частым вариантом мобильного узла связи является мобильный узел на основе штатной комбинированной радиостанции на базе автомобиля ГАЗ-66 (рис. 1). В состав оборудования связи такого мобильного узла входят УКВ- и КВ-радиостанции, АФУ, полевой телефонный коммутатор, полевые телефонные аппараты и полевой телефонный кабель, полукомплект радиорелейной станции. Это оборудование обеспечивает радиосвязь в движении (десятки километров), на стоянке (до 300 км), развертывание полевой телефонной сети небольшой емкости (до 10 абонентов), привязку к ближайшему узлу связи сети общего пользования.

В состав штатного оборудования мобильного узла связи дополнительно могут включаться также радиостанции транкинговой сети и сотовой сети связи. Радиостанции транкинговой связи обеспечивают выход на телефонные сети общего пользования. В качестве источников питания средств связи используются штатные средства мобильного узла связи – бортовая сеть и бензоагрегат типа АБ-1.



Рис. 1. Командно-штабная машина Р-142Н на базе ГАЗ-66

Особую роль для обеспечения связи в районе ЧС, особенно при отсутствии инфраструктуры играет радиосвязь. Для осуществления качественного радиообмена применяют различные дополнительные средства и мероприятия направленные на улучшение качества связи: подбор частот, изменение мощности передачи, выбор наиболее оптимальных АФУ.

В целях повышения устойчивости радиосвязи и учитывая, что АФУ на применяемых комбинированных радиостанциях устанавливаются штатные, особое внимание необходимо уделить структурной и параметрической оптимизации и согласованию радиопередающего устройства и АФУ. В связи с большим количеством характеристик, которые необходимо оптимизировать, целесообразно использовать поэтапную многокритериальную оптимизацию отдельных элементов АФУ в большом диапазоне изменения параметров, после чего проводить комплексную структурно-параметрическую оптимизацию всей системы в более узком диапазоне изменения параметров [3].

Одним из ключевых параметров любой антенны является коэффициент стоячей волны, отражающий согласование антенны с кабелем. Поэтому часто требуется его максимальное уменьшение в диапазоне рабочих частот, одним из способов которого является включение в структуру антенны нагрузок в виде полосозапирающих фильтров (ПЗФ), представляющих собой резонансную структуру, пропускающую колебания вне пределов определенной полосы частот.

Таким образом, подход к обеспечению бесперебойной КВ-радиосвязи с учетом ЭМС путем проектирования оптимальных АФУ за счет включения ПЗФ и структурно-параметрической оптимизации является целесообразным при совершенствовании различной аппаратуры радиосвязи экстренно-оперативных служб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Правительства РФ от 30 декабря 2003 г. N 794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации ЧС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/70552494/> (дата обращения: 26.02.2018).
2. Рысев Д.В. Автоматизированные системы. Управления и связь / Д.В Рысев, В.С. Сердюк, С.Ф. Храпский / под ред. Д.В Рысева. – Омск: Из-во ОмГТУ, 2013. – 132 с.
3. Каймонов О.С., Газизов Т.Т. Новый подход к обеспечению бесперебойной КВ-радиосвязи в системе МЧС России // Матер. XI Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления», Томск, 25–27 ноября 2015. – Томск: В-Спектр, 2015. – Ч. 2. – С. 30–33.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА: ОБЗОР

А.В. Медведев, студент

*Научный руководитель П.Е. Орлов, доцент каф. ТУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, medart20@rambler.ru*

При создании необслуживаемых радиоэлектронных средств (НРС) большое внимание уделяется надежности и электромагнитной совместимости (ЭМС). К сожалению, классические технические методы обеспечения ЭМС (экранирование, фильтрация, заземление) в нужной мере не обеспечивают ЭМС НРС, ухудшая при этом массогабаритные характеристики изделия. Для решения данной проблемы необходима разработка нетрадиционных методов обеспечения ЭМС, основанных на системных эффектах и не вносящих новых элементов в конструкцию.

Энергосистема космического аппарата (КА) представляет собой НРС, которая имеет уникальные характеристики и нормы отличные от большинства других энергосистем. Поэтому, прежде всего, система должна быть высоконадежной и помехоустойчивой. При движении на орбите система электропитания КА работает полностью в автономном режиме, ее ремонт и замена практически невозможны. Выход из строя энергосистемы может привести к потере КА. В то же время нецелесообразно повышать надежность энергосистемы только лишь за счет увеличения избыточности системы: мало того, что стоимость энергосистемы является большой, но что более важно, полезная нагрузка КА строго ограничена.

Цель работы – выполнить обзор методов к повышению помехоустойчивости и надежности энергосистемы КА.

Система электропитания обычно состоит из солнечной батареи, аккумулятора и регулятора мощности, регулирующий поток мощности между различными компонентами для управления напряжением на шине. В зависимости от того как батарея подключена к шине, системы бывают: регулируемые солнцем, полностью регулируемые. В регулируемой солнцем шине (применяется в системах, где требования к мощности нагрузки до 3 кВт), скорость заряда батареи контролируется регулятором мощности, но разряжается батарея непосредственно на шину через диод, а заряжается через регулятор мощности. Шина при такой системе проста и, следовательно, более надежна. Однако, изменение номинального напряжения на шине достигает 25%, что требует дополнительного оборудования для контроля качества постоянного напряжения, поступающего от источника в распределительное устройство. В полностью регулируемой шине (применяется в системах, где требования к мощности нагрузки выше 3 кВт), когда заряд и разряд батареи контролируются регулятором мощности, напряжение шины контролируется в пределах нескольких процентов за весь период орбиты. Подобные системы позволяют не задействовать дополнительное оборудование для контроля качества постоянного напряжения. Так, типичное изменение напряжения на шине составляет от 2 до 5% от номинального напряжения [1].

Для увеличения надежности сети электропитания применяют комбинированную архитектуру распределения [2, 3]. В которой используются несколько источников, каждый из которой имеет в своей цепи защитную аппаратуру, устройство коммутации (применяются механические контакторы) и распределительное устройство. Чаще всего в качестве распределительного устройства используется обыкновенная шина. К каждой шине подключена своя группа потребителей. В нормальном режиме работы устройства коммутации разомкнуты, поэтому источники питают каждый свою группу потребителей. Но, когда отказывает один или несколько из источников или шин, система может работать как децентрализованная или как централизованная. Кроме того, существует два метода увеличения надежности комбинированной системы распределения электропитания, прежде всего, структурное резервирование распределительной шины, а также использование в место механических контакторов твердотельные регуляторы мощности. Отмечается, что опираться на один метод недостаточно, для повышения систематической надежности необходимы полная система прогнозирования управления и отказа, технология самоконтроля и ее методы.

Одним из методов увеличения надежности системы распределения электропитания является реализация топологии кольцевой шины.

Кольцевая шина – это топология, которая предоставляет возможность многократного перераспределения, при этом минимизируется аппаратное обеспечение в отличие от радиальной топологии. Оптимальным вариантом является топология нескольких связанных кольцевых шин. В работе [4] предложен анализ варианта комбинированной системы из трех шин. У каждой шины есть свой первичный источник постоянного напряжения и аккумулятор большой емкости. В данной работе система кольцевых шин считается регулируемой системой постоянного тока с напряжением 120 В. Цель рассмотренной работы заключается в оптимизации: максимизации общего тока зарядки аккумулятора или минимизация тока разрядки. Допускается, что рабочее напряжение в системе с постоянными параметрами, эквивалентно максимальной мощности заряда батареи. Емкость источников постоянного напряжения и батарей каждого кольца может отличаться, поэтому желательно ими управлять одинаковыми коэффициентами нагрузки вместо одинаковых мощностей. Это условие обеспечивает надлежащее распределение мощности между источниками и батареями, избегая неравномерность использования. Наконец, ток обмена должен быть как можно более низким.

В работе [5] предложено модальное резервирование – способ резервирования электрических соединений, отличающийся учётом электромагнитных связей между резервируемым (активный) и резервным (пассивный) проводниками резервируемой и резервной цепей. Результатом является уменьшение восприимчивости резервируемой цепи к внешним кондуктивным эмиссиям и уменьшение уровня кондуктивных эмиссий от резервируемой цепи. В случае выхода из строя резервируемой цепи, в резервной цепи будет достигаться аналогичный результат.

Таким образом, приведенный краткий обзор методов повышения надежности энергосистемы КА показывает, что наличие структурной избыточности позволяет искать пути рациональной компоновки и трассировки шин электропитания для повышения помехоустойчивости.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417 X0172.

ЛИТЕРАТУРА

1. Patel M.R. *Spacecraft Power Systems* // CRC Press. – 2005. – 691 p.
2. Петровичев М.А., Гуртов А.С. Система энергоснабжения бортового комплекса космических аппаратов. – Изд-во СГАУ, 2007. – С. 87.
3. Lingjie K., Shanshui Y., Li W. Analysis on power supply and distribution system for spacecraft based on reliability // 2013 15th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE). – 2013. – P. 1–9.

4. Momoh A.J., Xu K. Maximizing Serviceability of a Ring-Bus Power System in an Spacecraft by Implementing Multiple Objectives // 2005/2006 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition. – 2006. – P. 909–914.

5. Gazizov T.R., Orlov P.E., Zabolotsky A.M., Kuksenko S.P. New concept of critical infrastructure strengthening // Proc. of the 13th Int. Conf. of Numerical Analysis and Applied Mathematics. – 2015. – P. 1–3.

БИЗНЕС-ПЛАН ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЭКРАНИРОВАННОЙ ТЕМ-КАМЕРЫ

Д.А. Мозгова, магистрант; Е.С. Полунина, студентка

Научный руководитель М.Е. Комнатнов, доцент каф. ТУ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, mozgovadarya@bk.ru

Важной частью развития экономики любой страны являются инновации. Особенно это актуально в части разработок, относящихся к радиоэлектронной промышленности, так как они интегрируются во все сферы жизни, начиная от гражданского сектора и заканчивая военным. В РФ данная инициатива отражена на законодательном уровне и подкрепляется различными программами финансирования для развития радиоэлектронной промышленности [1–3]. Для многих инновационных проектов сложности начинаются после перехода на 4–5 стадию этапа инновационного цикла (прототипирование, малая серия) [4], когда государство прекращает финансовую поддержку в рамках НИОКР. Дальнейшее развитие возможно при заинтересованности инвесторов из бизнес-сферы и различных компаний.

На базе научно-исследовательской лаборатории «Безопасность и электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств» ТУСУР разрабатывается «Климатическая экранированная ТЕМ-камера» (КЭК) [5]. Однако для поиска финансирования проекта необходимо создать инвестиционный бизнес-план (БП).

Цель работы – создать инвестиционный БП для КЭК.

Разработанный БП для КЭК в полной мере отражает суть проекта, основные экономические показатели и перспективы выхода на рынок. БП включает в себя следующие разделы:

1. *Резюме проекта.* Приведено краткое описание и цель проекта, справка о команде, сроки реализации и окупаемости проекта, указано необходимое (финансовые, производственные и кадровые ресурсы) обеспечение проекта. Указан общий бюджет проекта и источники финансирования. Ключевые показатели эффективности реализации (KPI) проекта за весь срок реализации: объем необходимых инвестиций, чистый приведенный доход (NPV), индекс прибыльности (PI), ставка дисконтирования.

2. *Описание бизнес-идеи.* Включает научно-технологическое обоснование проекта: свойства и технические параметры, уникальность, области применения продукта, основные конкурентные преимущества. Описание текущей стадии реализации и дальнейшее развитие проекта. Указана текущая стадия реализации, выделены препятствия для реализации проекта и описаны планы по дальнейшему развитию проекта.

3. *Рынок продукта.* Проведён анализ зарубежного и российского рынков с проработкой: структуры рынка, описания актуальных трендов, основные продукты–конкуренты и компании–конкуренты, основные технологии производства, прогнозы по развитию на период реализации.

4. *Маркетинговый план.* Описана целевая аудитория проекта, обоснована потребность в продукте, приведены каналы сбыта, описаны маркетинговые мероприятия. Приведена структура затрат: ФОТ, налоговые отчисления, производственные затраты, организационные расходы и расходы на маркетинговые мероприятия. Описана цепочка стоимости и указаны рыночные ограничения.

5. *Календарно-ресурсный план проекта.* Указаны имеющиеся ресурсы и инфраструктура. Дополнительно описаны требуемые ресурсы. Указан перечень ключевых поставщиков необходимого сырья, комплектующих, программного обеспечения, лицензий. В календарном плане отражены основные этапы и задачи проекта: организационные, научно-технические, инфраструктурные (для обеспечения разработки нового продукта), производственно-инжиниринговые, маркетинговые, экономические, кадровые, система отчетности и контроля реализации проекта. Календарный план оформлен в виде диаграммы Ганта.

6. *Финансовый план.* Представлена информация о содержании финансовой части БП, основных этапах расчёта, а также источниках финансирования, сроках и объёмах продаж. Включает в себя: допущения, используемые при анализе, источники и сроки финансирования, объёмы продаж, структура себестоимости, расчет показателей экономической эффективности, финансовый план проекта.

7. *Анализ рисков проекта.* Возможные риски идентифицированы по причинам возникновения, оценена вероятность реализации и возможный ущерб.

Данный БП был успешно презентован на двух площадках и получил положительные отзывы от экспертной комиссии. По итогам презентации ведется работа с потенциальными инвесторами и рядом компаний для дальнейшего сотрудничества и развития проекта.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417 X0172.

ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации».
2. Государственная программа «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013–2025 годы».
3. Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. № 328 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности».
4. Антонец В.А., Нечаева Н.В. Основы коммерциализации технологий // Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Инновационная деятельность в научно-технической сфере. Коммерциализация результатов исследований и разработок». – Нижний Новгород, 2007. – С. 11–12.
5. Официальный сайт научно–исследовательской лаборатории «Безопасность и электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://talgat.org/news/климатическая-экранированная-тем-ка> (дата обращения: 12.03.2018).

МЕТОДЫ ПОДАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ: ОБЗОР

Б.С. Мухамбетжанова, магистрант

*Научный руководитель Р.Р. Газизов, м.н.с. НИЛ «БЭМС РЭС»,
ассистент каф. ТУ*

г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, mukhambetzhanova.95@gmail.com

Импульсные источники вторичного электропитания являются источниками интенсивных электромагнитных помех (ЭМП). Причиной является то, что многочисленные сигналы в импульсных источниках предполагают периодическую очередность импульсов. Диапазоны подобных сигналов захватывают спектр частот шириной вплоть до нескольких МГц. В том числе и маломощные импульсные источники питания создают помехи в радиоэлектронной аппаратуре (РЭА) [1]. По этой причине необходимо подавление высокочастотных ЭМП.

Цель работы – выполнить обзор методов подавления ЭМП в РЭА.

Предлагается эффективный метод подавления помех от питания с использованием переходных отверстий в слое земля-питание в многослойных печатных платах (ПП) [2]. Показано, что переходное отверстие в слое земля-питание имеет сильные характеристики подавления

помех от питания, целостности сигнала и эффективности обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС).

Помимо переходных отверстий предлагается другой метод подавления ЭМП – использование реактивных элементов в схеме. Выполнено моделирование, анализ и проектирование плоских конденсаторов, встроенных в многослойную ПП, для подавления помех [3]. Представлен точный и быстрый метод моделирования, анализа и проектирования для подавления помех питания с использованием встроенных плоских конденсаторов в высокоскоростные многослойные ПП. Два основных нюанса этой работы: 1) предполагается использование идеальной модели короткого замыкания переменного тока для упрощения анализа полосы пропускания, для чего получена физическая формула, и 2) вводится метод моделирования физической эквивалентной схемы для быстрой оценки уровня подавления помех в сложных многослойных структурах. Результаты подтверждены с помощью моделирования и эксперимента. Этот метод изменяет анализ сложных многоплоскостных пар, объединяя их в одну пару одиночных плоскостей, что может значительно упростить процесс проектирования встроенных плоских конденсаторов в сложных многослойных ПП.

Также известны методы подавления ЭМП с использованием особых поглощающих материалов, в частности предложена новая структура линии передачи для быстродействующих медных межсоединений с высокой плотностью монтажа [4]. В предлагаемой структуре используется поглощающий материал для подавления любых резонансов перекрестных помех, которые могут возникать из-за наводок сигнала в таких условиях плотности монтажа. Оптимальные электрические свойства такого поглощающего материала определялись с использованием исследования на основе моделирования. В этой статье также обсуждаются влияния увеличения высоты соединителя на перекрестные помехи и введение любых поглощающих материалов при потере сигнала.

Кроме того, предложен более простой метод подавления ЭМП, без добавления элементов схемы, поглощающих материалов и переходных отверстий – метод изгиба дифференциальной линии передачи с компенсацией индуктивности для эффективного подавления синфазной помехи [5]. Изогнутая дифференциальная линия передачи с компенсацией индуктивности может быть использована в качестве изогнутой дифференциальной линии передачи, используя короткозамкнутую связанную линию. Показано, что изогнутая дифференциальная линия передачи с использованием короткозамкнутой связан-

ной линии может значительно уменьшить преобразование мод от -5,47 до -14,75 дБ, а синфазные помехи во временной области от 0,068 до 0,02 В по сравнению с изогнутой дифференциальной линией передачи с использованием изгиба под прямым углом. Для проверки результатов моделирования выполнены измерения в частотных и временных областях. Результаты измерений хорошо согласуются с результатами моделирования.

Также при использовании последнего метода исследовано использование линий со ступенчатым импедансом для уменьшения синфазной помехи в согнутых связанных линиях передачи [6]. Предлагается использовать связанные линии, изогнутые под прямым углом, с периодической структурой ступенчатого импеданса для подавления, как синфазной, так и дифференциальной помех. Преимущество периодической структуры линии ступенчатого импеданса заключается в том, что он не только имеет более низкую стоимость производства и проще реализуется на двухслойной ПП, но также обеспечивает приемлемый уровень передачи и слабых отражений.

Приведенный обзор показывает актуальность необходимости подавления ЭМП в РЭА, в том числе показано, что методы подавления различны. В частности, первые три работы отличаются по методу подавления, а именно, в них используются дополнительные переходные отверстия, реактивные элементы или поглощающие материалы в ПП. Однако последние две работы схожи: в них используется метод изгиба линии передачи под прямым углом, что дает эффективный результат при подавлении ЭМП. Следует заметить, что именно с использованием последнего метода уровни подавления ЭМП наиболее высокие, а сам метод является простым и мало затратным.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417X0172.

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 Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2016. – 288 с.
2. Mu-Shui Zhang. Power Noise Suppression Using Power-and-Ground Via Pairs in Multilayered Printed Circuit Boards // *EEE Trans. on Components, Packaging and Manufacturing Technology*. – Vol. 1. – P. 374–385.
3. Mu-Sui Zhang, Hong-Zhou Tan, Jun-Fa Mao. Modeling, Analysis, and Design for Noise Suppression Using Embedded Planar Capacitors in Multilayered Printed Circuit Boards. *IEEE Trans. on Components, Packaging and Manufacturing Technology*. – 10 January 2014. – Vol. 4. – P. 882–891.

4. Khan Z.A. A Novel Transmission Line Structure for High-Speed High-Density Copper Interconnects // IEEE Trans. on Components, Packaging and Manufacturing Technology. – 09 June 2016. – Vol. 6. – P. 1077–1086.

5. Chang Chia-Han. Bended Differential Transmission Line Using Compensation Inductance for Common-Mode Noise Suppression / Chia-Han Chang, Ruei-Ying Fang, Chun-Long Wang // IEEE Trans. on Components, Packaging and Manufacturing Technology. – 25 April 2012. – Vol. 2. – P. 1518–1525.

6. Lin D.-B. Using Stepped-Impedance Lines for Common-Mode Noise Reduction on Bended Coupled Transmission Lines / D.-B. Lin, Ch.-P. Huang, H.-N. Ke // IEEE Trans. on Components, Packaging and Manufacturing Technology, 30 March 2016. – Vol. 6. – P. 757–766.

АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ПРЕДНАМЕРЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ: ОБЗОР

Д.Т. Нурахмет, студент

*Научный руководитель П.Е. Орлов, доцент кафедры ТУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, nurakhmet1995@gmail.com*

Рассмотрены исследование и классификация источников преднамеренных электромагнитных помех [1]. Предлагаются определения, применяемые для классификации доступных источников с точки зрения их мобильности, технологического развития и уровня стоимости, с тем чтобы увидеть тенденции в развитии источников.

Оценка уязвимости критических систем к преднамеренным электромагнитным помехам вызвала значительный интерес в ЭМС сообществе за последнее десятилетие [2, 3]. Поскольку преднамеренные электромагнитные воздействия (ПДЭМВ) подразумевают использование мощных сигналов неприродного происхождения, то целесообразно начать изучение данного вопроса с исследования сверхширокополосных генераторов.

Целью данной работы – выполнить анализ потенциальных источников ПДЭМВ.

Для решения поставленной цели рассмотрены следующие вопросы:

1. Какова ожидаемая форма сигнала напряжения, которая может быть введена в кабели исследуемого объекта.
2. Какие параметры сигналов в частотной области, которые будут облучать объект.
3. Возможность перемещения источников ПДЭМВ непосредственно к объекту воздействия.
4. Сколько денежных средств потребуется злоумышленнику для приобретения ПДЭМВ источника.

Гипердиапазонный/субгипердиапазонных генератор это сверхширокополосный генератор (например, [4]), формирующий одиночный импульс, который может быть представлен формой сигнала, показанной на рис. 1, а [1]. Этот сигнал описывается следующими параметрами: пиковая амплитуда; время до пика; время нарастания по уровням 10–90%; полная ширина по половине от максимума; пиковая производная. Нужно отметить, что форма сигнала во временной области $R(t)$ была усечена, чтобы проиллюстрировать её существенные характеристики.

Частотный спектр может быть оценен путем вычисления преобразования Лапласа вдоль мнимой оси j или путем прямого вычисления преобразования Фурье от формы сигнала во временной области. Рассмотрим иллюстрацию частотного спектра формы затухающей синусоиды на рис. 1, б.

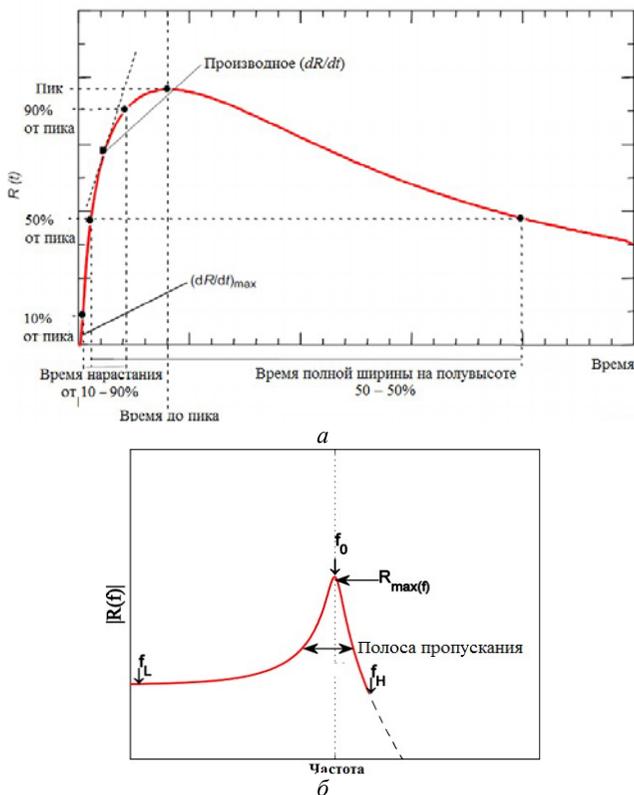


Рис. 1. Иллюстративный график монополярного импульса (а); иллюстрация частотного спектра затухающей синусоиды (б)

Центральная частота (f_0) является частотой с максимальным значением амплитуды спектра помехового сигнала. Для сигнала, имеющего несколько локальных максимумов в спектре, нельзя однозначно определить одну центральную частоту. В этом случае термин «резонансные частоты» используется для обозначения точек, где оцениваются локальные максимумы в спектре помехового сигнала. Низко- и высокочастотные пределы f_L и f_H определены как наименьший интервал, в котором содержится 90% энергии [2].

Международный союз электросвязи (ITU) [4] предложил термин *портативность* для описания транспортируемости источников. Различают четыре уровня портативности:

1. Карманные или нательные: применяется к устройствам, которые могут быть скрыты на теле и/или в одежде человека.

2. Размера портфеля или рюкзака: относится к устройствам, которые слишком велики, чтобы быть скрытыми на человеческом теле и/или в одежде, но все еще достаточно малы, чтобы носить его например, в портфеле или рюкзаке.

3. Размера транспортного средства: относится к устройствам, которые слишком велики, чтобы транспортировать их человеком, но достаточно большие, чтобы их можно было скрыть в типичном потребительском автомобиле.

4. Размера трейлера: применяется к устройствам, которые слишком велики, чтобы переноситься человеком или скрываться в типичном потребительском автомобиле.

Среди всех критериев, которые были предложены в литературе для классификации доступности источников ПДЭМВ, возможно, самым простым является их стоимость. Сабат и Гербе предложили следующие разумные диапазоны в [5]:

1. Низкая стоимость менее (низкотехнологичные системы): до 1 тыс. €.

2. Умеренная стоимость (среднетехнологичные системы): от 1 тыс. € до 100 тыс. €.

3. Средняя стоимость (высокотехнологичные системы): от 100 тыс. € до 1 млн. €.

4. Высокая стоимость (высокосложные системы): более 1 млн. €.

В рассмотренных работах представлены исследования и классификация потенциальных источников ПДЭМВ. Установлено, что их цена и транспортабельность варьируются в относительно широкой полосе значений, а низкая стоимость (менее 1 тыс. €) делают подобные системы доступными.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417X0172.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mora N., Vega F., Lugrin G., Rachidi F., Rubinstein M. Study and classification of potential IEMI sources // System and assessment notes. – Note 41. – July 8, 2014.
2. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility // Special Issue on high-power electromagnetic (HPEM) and intentional electromagnetic interference (IEMI). – August 2004. – Vol. 46, No. 3.
3. Thottappillil R., Mansson D., Backstrom M. Response of electrified railway facilities to intentional electromagnetic interference // In Electromagnetic Compatibility, 2008; Asia-Pacific Symposium on. – 2008. – P. 291–294.
4. ITU. High-power electromagnetic immunity guide for telecommunication systems // In K. 81 ed. – 2009.
5. Sabath F., Garbe H. Risk potential of radiated HPEM environments // EMC 2009. IEEE International Symposium on. – 2009. – P. 226–231.

АКТУАЛЬНОСТЬ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РАБОТУ ФИЛЬТРА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ

*Р.А. Сайтқулов, магистрант каф. ТУ
г. Томск, ТУСУР, grue95@gmail.com*

Фильтры электромагнитных помех (ЭМП), которые изготавливаются из резисторов, конденсаторов и индуктивностей, являются наиболее подходящим решением для уменьшения кондуктивных электромагнитных эмиссий. Существует ряд факторов, из-за которых может изменяться температура пассивных компонентов: внутренние потери энергии, нагрев печатной платы, нагрев окружающего воздуха, вызванный другими компонентами или изменением температуры окружающей среды. В работе [1] представлены важные результаты по влиянию температуры на работу фильтров ЭМП, показывающие актуальность его учета в проектировании фильтров ЭМП в критичной аппаратуре.

Цель работы – обратить внимание читателя на актуальность учета влияния температуры на работу фильтра ЭМП по результатам [1].

Для определения поведения параметров компонентов фильтра ЭМП используется векторный анализатор цепей (ВАЦ). Для изменения температуры компонентов при испытании используется термокамера. На рис. 1 приведена структурная схема установки для измерения модуля импеданса конденсатора при изменении температуры и зависимость модуля его импеданса, полученного из S -параметров, от частоты при изменении температуры от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $140\text{ }^{\circ}\text{C}$.

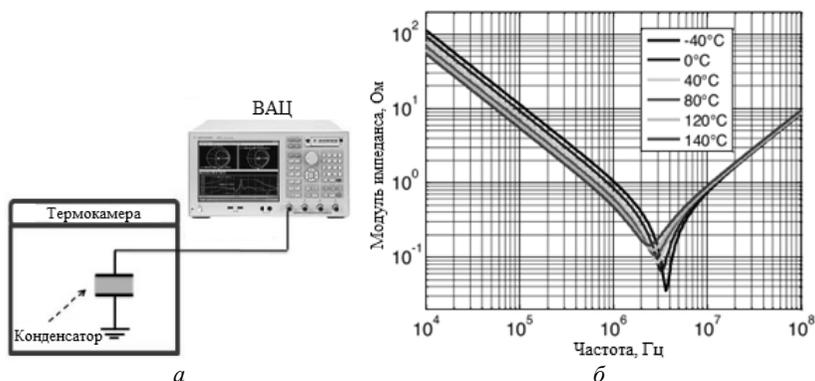


Рис. 1. Структурная схема установки (а), модуль импеданса при изменении температуры (б)

Из рис. 1 видно, как влияет температура на конденсатор. При изменении температуры от -40 до 140 °С кривая модуля импеданса существенно сдвигается, так как различные электрические параметры конденсатора чувствительны к температуре и имеют значительное отклонение от номинального значения согласно изменениям температуры окружающей среды.

На рис. 2 приведены методы измерения импедансов катушки индуктивности, а на рис. 3 – результаты измерений. Из рис. 3 видно, что кривые модуля импеданса в конфигурациях (а) и (б) (импеданс намагничивания и синфазный режим) значительно смещаются с увеличением температуры. Это связано с комплексной проницаемостью магнитного сердечника (Mn-Zn-феррит), очень чувствительной к температуре.

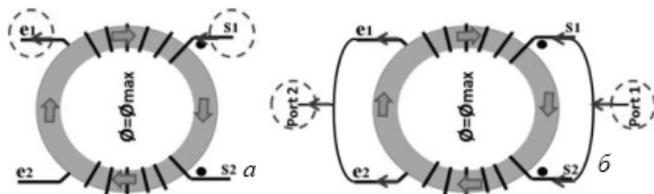


Рис. 2. Методы измерения импедансов индуктивности

Для проверки эффективности подавления кондуктивных электромагнитных эмиссий в системах силовой электроники в соответствии с авиационным стандартом DO160F, разработанная модель фильтра ЭМП установлена между эквивалентом сети, представляющим электрическую нагрузку, и моделью преобразователя, которая

воспроизводит частотное поведение кондуктивных эмиссий. Она состоит из эквивалентных источников синфазного и дифференциального напряжения с их импедансами в синфазном и дифференциальном режимах. Эквивалент сети представлен импедансом Z_0 . Уровень кондуктивных электромагнитных эмиссий, вызванных синфазным и дифференциальным напряжениями при нескольких значениях температуры, показан на рис. 4.

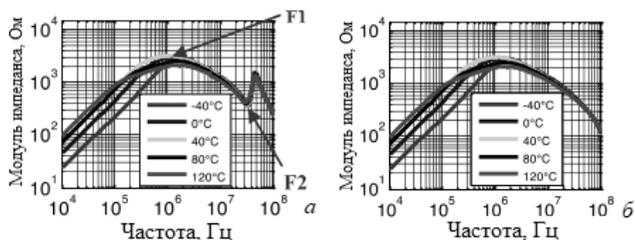


Рис. 3. Влияние температуры на импедансы катушек индуктивности

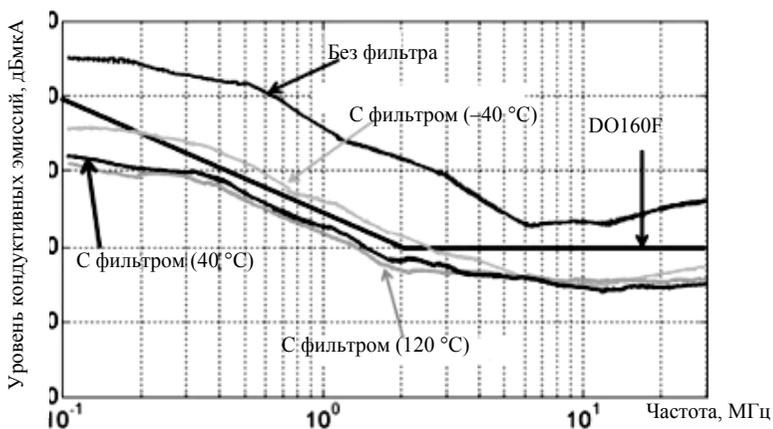


Рис. 4. Влияние температуры фильтра ЭМП на кондуктивные эмиссии

Общий уровень эмиссий, измеренный при помощи эквивалента сети без добавления фильтра электромагнитных помех, превышает максимальный уровень, требуемый стандартом DO160F. С фильтром ЭМП уровень эмиссий ниже заданного стандартом предела при 40 и 120 °С, но несколько выше в диапазоне частот от 200 кГц до 3 МГц при -40 °С. Это связано с изменением затухания фильтра ЭМП в соответствии с температурой.

Примечательно, что существует частотная точка (6 МГц) нулевой чувствительности уровня эмиссий к изменению температуры. Кроме

того, в небольшом диапазоне после этой точки (в области 10 МГц) уровень эмиссий при $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже, чем при $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, тогда как почти во всем диапазоне ниже 3 МГц уровень был выше почти на 10 дБ.

Таким образом, в зависимости от того, как температура влияет на компоненты, составляющие фильтр ЭМП, изменение температуры может улучшить или ухудшить ослабление уровня кондуктивных эмиссий. Это также делает актуальным повышение точности учета влияния температуры на частотные характеристики компонентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hani F., Boulzazen H., Kadi M. High-frequency characterization and modeling of EMI filters under temperature variations // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – Dec. 2017. – Vol. 59. – No. 6. – P. 1906–1915.

ОБЗОР МЕТОДОВ И ПОДХОДОВ К МОДЕЛИРОВАНИЮ МЕАНДРОВЫХ ЛИНИЙ ЗАДЕРЖКИ

Е.А. Сердюк, студент; А.В. Носов, аспирант

Научный руководитель Р.С. Суровцев, доцент каф. ТУ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, serduk.10@mail.ru

В настоящее время радиоэлектронная аппаратура (РЭА) является неотъемлемым компонентом практически всех сфер деятельности человека. Поэтому от ее бесперебойной работы зависит безопасность каждого человека и современного общества в целом. В связи с высокой плотностью монтажа межсоединений на печатной плате, уменьшением рабочих напряжений устройств и возрастающей верхней граничной частотой спектра используемых сигналов при проектировании РЭА необходимо особое внимание уделять электромагнитной совместимости (ЭМС). Одной из задач ЭМС является обеспечение защиты РЭА от электромагнитных воздействий, которые могут быть вызваны перенапряжением, природными явлениями (вторичное проявление разряда молнии) или являться результатом преднамеренных действий человека в террористических целях. Особую опасность представляют сверхкороткие импульсы (СКИ) наносекундного и субнаносекундного диапазонов. Такие СКИ способны проникать внутрь РЭА и выводить ее чувствительные цифровые цепи из строя. Существующие устройства защиты зачастую неспособны обеспечить должной защиты от таких воздействий в силу недостаточного быстродействия и малой мощности [1]. Поэтому по-прежнему остается актуальным поиск новых эффективных устройств защиты РЭА от СКИ.

В этой связи предложен простой подход к защите РЭА, основанный на разложении СКИ в витке меандровой линии задержки за счет

модальных искажений сигнала [2]. Между тем, при проектировании традиционных меандровых линий задержки эти искажения нежелательны и являются одним из основных факторов, влияющих на изменение задержки [3]. Исследованию подходов к компенсации искажений посвящено множество работ исследователей со всего мира [4–11]. Поэтому при проектировании таких устройств необходим детальный предварительный анализ искажений и моделирование распространения сигнала в меандре (как полезного, так и помехового). Многообразие известных численных методов дает возможность выбора наиболее корректного и точного метода для моделирования поставленной задачи. Однако указанные исследования защитных меандровых линий из [3] выполнены на основе метода моментов (МоМ) для вычисления матриц погонных коэффициентов линии и модифицированного метода узловых потенциалов для моделирования отклика сигнала в линии. Поэтому целесообразно выполнить обзор других численных методов, которые применяются для моделирования меандровых линий и провести сравнение. Поэтому цель данной работы выполнить обзор методов и подходов к моделированию меандровых линий задержки.

Наиболее простым, но при этом достаточно точным из численных методов, применяемых для моделирования межсоединений, является МоМ. Так известно его использование для вычисления задержки сигнала в меандровых линиях печатных платах вычислительных систем [9]. При моделировании учтены трехмерная конфигурация линии, в том числе толщина сигнальной линии, изгибы линии и скин-эффект. Рассматриваются линии задержки, имеющие разные разности между проводниками, а полученные результаты сравниваются с результатами двумерного моделирования в других коммерческих программных продуктах, а также с аналитическими формулами из литературы и экспериментальными измерениями.

В результате выявлено, что для определения относительной задержки в меандровой линии с различными разностями между проводниками предпочтительнее использовать аналитические методы, а для настройки фазового сдвига импульсов более точным является полноволновой подход. В другом исследовании представлены результаты сравнения трех численных методов (метода конечных разностей во временной области, метода конечных элементов (МКЭ) и МоМ) для моделирования меандровой линии задержки [10]. Для определения параметров линии применяются полноволновой метод конечных разностей во временной области и упрощенный метод конечных разностей с использованием уравнений для многопроводных линий. Выполнено сравнение вычисленных форм выходного напряжения с использованием указанных методов, а результаты сравнены с двумя ал-

горитмами, основанными на МКЭ и подходами на основе МоМ. В результате продемонстрировано хорошее согласование полученных результатов. В еще одном исследовании выполнено моделирование линий задержки с использованием метода эквивалентных схем частичных элементов и метода конечных разностей во временной области [11].

В работе выполнено сравнение результатов, полученных методом конечных разностей во временной области и методом эквивалентных схем частичных элементов. Каждый из исследуемых методов решает одну задачу совершенно по-разному, но тем не менее показано хорошее совпадение результатов.

Из представленного обзора видно, что существуют различные методы и подходы к моделированию меандровых линий задержки. Наиболее известным и хорошо исследованным является МоМ, который широко применяется для моделирования различных межсоединений в рамках квазистатического подхода. Выявленное хорошее совпадение результатов, полученных с помощью МоМ с другими более точными и затратными методами говорит о приемлемой точности МоМ при малых затратах на моделирование. В дальнейшем необходимо выполнить моделирование защитных линий задержки с применением других численных методов и сравнить полученные результаты.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417 X0172.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gizatullin Z.M. Investigation of the Immunity of Computer Equipment to the Power-Line electromagnetic Interference / Z.M. Gizatullin, R.M. Gizatullin // Journal of Communications Technology and Electronics. – Vol. 61. – No. 5. – P. 546–550.
2. Surovtsev R.S. Possibility of Protection Against UWB Pulses Based on a Turn of a Meander Microstrip Line / R.S. Surovtsev, A.V. Nosov, A.M. Zabolotsky, T.R. Gazizov // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – Vol. 59. – No. 6. – P. 1864–1871.
3. Лысенко А.А. Автоматическое формирование линий задержки в топологии печатного монтажа / А.А. Лысенко, Ю.Т. Лячек, О.Б. Полубасов // Известия Санкт-Петербургского гос. электротехн. ун-та ЛЭТИ. – 2011. – № 9. – С. 61–65.
4. Wu R.B. Laddering wave in serpentine delay line / R.B. Wu, F.L. Chao // IEEE Transactions on components, packaging, and manufacturing technology. – 1995. – part B, Vol. 18, No. 4. – P. 644–650.
5. Wu R.B. Flat spiral delay line design with minimum crosstalk penalty // IEEE Transactions on components, packaging, and manufacturing technology. – 1995. – Part B, Vol. 19, No. 2. – P. 397–402.

6. Sudo T. Experimental characterization and numerical modeling approach of meander delay lines / T. Sudo, J. Kudo, Y. Ko, K. Ito // IEEE International EMC Symposium. – Minneapolis. – 2002. – Vol. 2. – P. 711–715.

7. Ramahi O.M. Analysis of conventional and novel delay lines: a numerical study // Applied Computational Electromagnetics Society journal. – 2003. – No. 3. – P. 181–190.

8. Amplitude equalized transmission line dispersive delay structure for analog signal processing / S. Gupta, Y. Horii, B. Nikfal, C. Caloz // Telecommunication in Modern Satellite Cable and Broadcasting Services (TELSIKS), 2011 10th International Conference on. – Nis, Serbia, 2011. – P. 379–382.

9. Rubin B.J. Study of meander line delay in circuit boards / B.J. Rubin, B. Singh // IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques. – 2000. – Vol. 48. – P. 1452–1460.

10. Bhobe A.U. Meander delay line challenge problems: a comparison using FDTD, FEM and MoM / A.U. Bhobe, C. Lolloway, M. Picket-May // Int. Symposium on EMC. – 2001. – P. 805–810.

11. Archambeault B. Using PEEC and FDTD to solve the challenge delay line problem / B. Archambeault, A. Roden, O. Ramahi // IEEE EMC Symposium. – Montreal, Canada, 2001. – Vol. 2. – P. 1–4.

ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ

И.А. Трубоченинова, магистрант; А.В. Бусыгина, ассистент

г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, trubcheninova.ia@mail.ru

Одной из ключевых задач текущего этапа общественного развития является обеспечение качественного образования. Для ее успешного решения важно проводить регулярный анализ качества образовательной деятельности, выявляющий его сильные и слабые стороны. Под качеством образования понимается степень соответствия результатов образования предъявляемым к ним требованиям, которые регламентированы различными нормативно-правовыми актами. В документе [1] перечислены основные показатели оценки, касающиеся открытости и доступности информации об университете, комфортности условий, компетентности преподавательского состава, удовлетворённости качеством образовательной деятельности. При этом каждый показатель имеет несколько критериев, которые позволяют осуществить оценку.

Вопрос об оценке качества образования стал актуален для кафедры телевидения и управления (ТУ) ТУСУР. Причиной этого стало открытие в 2015 году магистерских программ на кафедре, что является новым направлением работы и поэтому важно выяснить качество

образования и какие корректировки (при необходимости) нужно внести. Для этого необходимо провести работу со всеми субъектами образовательного процесса. Наиболее доступным методом сбора информации является анкетирование. Оно позволяет собрать большой объем информации и обработать ее с небольшими временными затратами. В осеннем семестре 2017/2018 учебного года был проведен опрос среди студентов-магистрантов [2]. Следующим этапом оценки качества образовательного процесса является работа с преподавательским составом.

Цель работы – представить результаты анкетирования преподавателей кафедры ТУ, задействованных в реализации магистерских программ для оценки качества образования в магистратуре.

Для этого была разработана анкета, позволяющая провести оценку по утверждённым показателям. При разработке анкеты учитывались вышеуказанные показатели оценки качества и затрагивались следующие аспекты:

1. Материально-техническое и информационное обеспечение кафедры.

2. Условия для индивидуальной работы преподавателей с обучающимися.

3. Мотивация преподавателей к улучшению и продвижению магистерских программ на кафедре.

4. Наполненность теоретической и практической базой магистерских программ.

5. Важность и назначение магистерских программ в университете.

В анкетировании участвовало 12 преподавателей кафедры ТУ. Анализ показал, что магистратура для студента – это возможность повысить уровень уже имеющихся компетенций, а также получить новые компетенции и знания по изучаемому направлению.

Однако отмечается тенденция ухудшения качества магистрантов разных лет набора (разный уровень подготовки абитуриентов, низкий уровень самоорганизации, слабый интерес к научной деятельности). На рис. 1 представлены основные причины, препятствующие наиболее эффективному процессу обучения.

Кроме этого преподаватели выделяют низкий уровень мотивации студентов и неосознанность выбора направления подготовки. Отмечается невысокая оценка (по пятибалльной шкале) материально-технической базы: 3,04 балла по критерию «количество необходимого оборудования» и 2,96 балла по критерию «качество оборудования». Обеспеченность учебно-методической литературой была оценена на 3,75 балла, а ее качество на 4 балла.

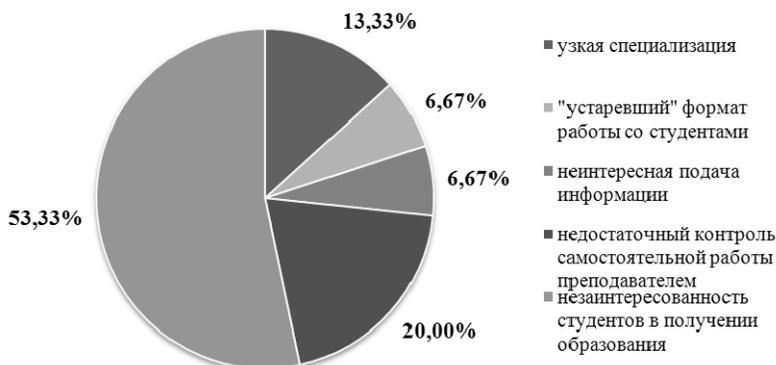


Рис. 5. Диаграмма оценки основных причин, препятствующих наиболее эффективному процессу обучения

К основным достоинствам магистерских программ на кафедре преподаватели отнесли:

- хорошая научно-исследовательская база и возможность участия в научных проектах;
- востребованность выпускников магистерских программ на кафедре;
- использование передовых научных исследований в учебном процессе.

К недостаткам отнесли:

- несбалансированность научно-исследовательской и практической деятельности в магистерских программах на кафедре;
- нехватка специализированных лабораторий и нового оборудования.

На основе полученных результатов анкетирования, можно сделать следующие выводы: пересмотреть методы привлечения студентов в магистратуру; более полно и подробно информировать будущих студентов-магистрантов о специфике и назначении магистерских программ; улучшать материально-техническую базу и учебно-методическое обеспечение, которое используют студенты на занятиях. Сравнительный анализ результатов анкетирования студентов и преподавателей показал согласованность в оценках основных проблем, влияющих на реализацию магистерских программ.

Проведенный анализ показал необходимость разработки комплекса мер по устранению выявленных недостатков. Для отслеживания динамики изменений образовательного процесса необходимо

проводить регулярный мониторинг качества с использованием различных средств оценки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Приказ Минобрнауки России от 05.12.2014 г. N 15471547 «Об утверждении показателей, характеризующих общие критерии оценки качества образовательной деятельности организаций, осуществляющих образовательную деятельность» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://минобрнауки.рф/документы/5141>

2. Трубченинова И.А, Бусыгина А.В. Анкетирование как ресурс для повышения качества образования в магистратуре // Доклады 23-й Междунар. науч.-практ. конф. «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири» (СИБРЕСУРС-23-2017), Томск, 24 ноября 2017 г.: В-Спектр. – С. 77–80.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМЫ ГЕНЕРАТОРА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА

Е.С. Жечев, магистрант каф. ТУ

Научный руководитель М.Е. Комнатнов к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, geopath@mail.ru

Генераторы электростатического разряда (ЭСР) широко используются для проведения испытаний электронного оборудования в области электромагнитной совместимости. Генераторы позволяют воспроизводить естественный перенос импульсного заряда между объектами с разными потенциалами. Для лучшей повторяемости результатов испытаний большинство генераторов ЭСР построены в соответствии со стандартом IEC 61000-4-2 [1]. Реальные испытания на устойчивость к воздействию ЭСР являются наглядными и практичными, однако достаточно трудоемки при оценке нескольких различных проектных решений. Для этого, в настоящее время проводят моделирование с выбором оптимальных параметров соответствующие заданному стандарту на выходе генератора.

Цель работы – выполнить моделирование схемы генератора ЭСР и сравнить, полученный результат с импульсом тока из МЭК 61000-4-2.

Выбрана модель [2], имитирует эффект ЭСР, вызванный контактным прикосновением человека к проводящему объекту. С учетом особенностей кожного покрова, эквивалентная модель представлена (рис. 1) в виде схемы с сосредоточенными параметрами, которая может быть смоделирована в любом схемотехническом симуляторе. Модель включает два переключателя $SA1$ и $SA2$. Заряд конденсатора емкостью 150 пФ и номинальным напряжением 5 кВ осуществляется через $SA1$, а разряд через $SA2$. Плоский кабель, используемый в каче-

стве электростатического браслета, представлен включением линии передачи с волновым сопротивлением 225 Ом, временем задержки 3,3 нс и индуктивностью 10 нГн. Индуктивность имитирует соединение плоского кабеля с металлической заземленной пластиной. Наконечник ЭСР представлен последовательным соединением резистора сопротивлением 25 Ом и катушкой индуктивности 0,2 мкГн. Нагрузка представляет собой сопротивление контакта заземленной металлической пластины и выбрано равным 2 Ом.

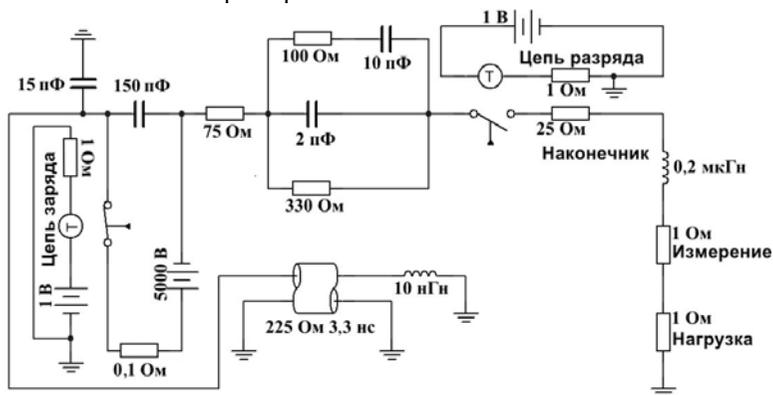


Рис. 6. Принципиальная схема генератора ЭСР

Выполнено моделирование и сравнение импульсного тока (рис. 2) на наконечнике генератора ЭСР с эталонным из МЭК 61000-4-2 (рис. 3). При моделировании схемы, осциллограф подключался параллельно резистору номиналом 1 Ом.

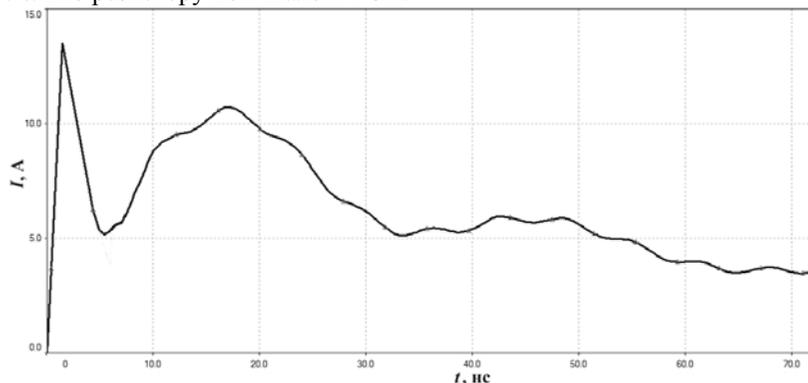


Рис. 2. Импульс тока на наконечнике генератора ЭСР полученный при моделировании схемы

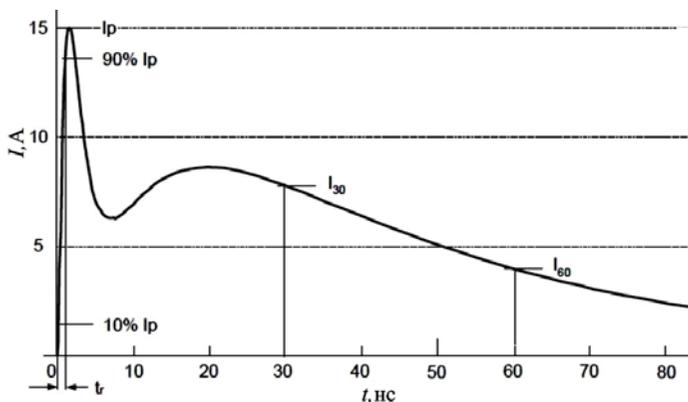


Рис. 3. Эталонный импульсный ток [1]

Таким образом, используя модель генератора ЭСР возможно смоделировать ток импульса ЭСР при контакте человеческого тела с электронным устройством. Сравнение результатов моделирования с приведенными значениями эталонного тока, указанного в МЭК, выявило погрешность 10% в пике на 2 нс (13,5 и 15 А), на 30 нс – 19% (6 и 7,4 А), на 60 нс – менее 5% (3,9 и 4 А). Средняя скорость убывания на участке от 20 нс до 80 нс составляет 0,2 А/с в схеме моделирования, на том же отрезке спад эталонной характеристики разрядного тока составляет около 0,3 А/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. IEC 61000-4-2: 2008. Testing and measurement techniques – ESD immunity test.
2. Caniggia S. Circuitual and numerical modeling of electrostatic discharge generators / S. Caniggia, F. Maradei // Industry Applications Conference. – 2005. – P. 1–5.

РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ДЛЯ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ

А.В. Жечева, магистрант

Научный руководитель М.Е. Комнатнов к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, ms8ann@gmail.com

В последнее время значимость электромагнитной совместимости (ЭМС) электронных схем и устройств значительно возросла, что повышает требования к электромагнитным свойствам оборудования.

Реализация ЭМС устройств начинается еще на этапе разработки схем и выбора компонентов. Неверные решения на ранних стадиях разработки часто могут быть скорректированы позднее со значительными финансовыми и временными затратами [1]. Понимание принципов работы схемы абсолютно необходимо для выполнения требований по ЭМС. Зачастую автоматическое расположение и трассировка не позволяют достичь приемлемых результатов с точки зрения ЭМС [2]. Поэтому вся ответственность в принятии решений по размещению критичных компонентов и трассировке межсоединений полностью возлагается на разработчика.

Целью данной работы представить рекомендации по проектированию печатных плат для аналого-цифровых систем.

На этапе проектирования печатной платы разработчиком используются несколько способов заземления. Одним из которых является «рабочее заземление», при этом все модули в системе используются совместно. Заземление рекомендуется осуществлять по типу «звезда», при котором точка объединения системной «земли» от различных модулей и цепей обработки сигнала должна быть приближена к источнику тока и все «земляные» соединения должны иметь максимальное сечение.

Протекающий по сигнальным цепям ток, создает равный по величине возвратный (обратный) ток, протекающий по «земляной» шине. Для уменьшения электромагнитных помех оптимальным вариантом является протекание в непосредственной близости обратного тока под сигнальным проводником или параллельно ему. При использовании многослойных печатных плат одним из решений является использование отдельного слоя, предназначенного для «земли» и полигона. Этот слой из-за низкого сопротивления значительно уменьшит электромагнитные связи, а также может служить электромагнитным экраном [3].

При проектировании аналоговых и цифровых компонентов на печатной плате следует организовывать их в отдельные блоки, для минимизации взаимодействия между чувствительными аналоговыми и цифровыми блоками. Высокочастотные логические компоненты следует располагать близко к друг другу и разъему, для того чтобы обеспечить минимальную длину межсоединений, по которым протекают высокочастотные токи и уменьшить распределенную емкость и взаимную индуктивность между сигнальными проводниками. Высокочастотные узлы схем необходимо размещать отдельно от низкочастотных [4]. На рис. 1 и 2 показаны возможные варианты расположения аналоговых и цифровых блоков на печатной плате.



Рис. 7. Расположение аналоговых и цифровых блоков на печатной плате [3]



Рис. 2. Расположение аналоговых и цифровых блоков с тактовым генератором на печатной плате [3]

На рис. 2 тактовый (опорный) генератор расположен в центре, это обеспечивает минимальную длину проводников для соединения аналоговых и цифровых блоков и позволяет избежать использования переходных отверстий. Высокочастотные цифровые блоки расположены как можно дальше от аналоговых блоков, для того чтобы избежать взаимных электромагнитных связей. Для обеспечения минимального взаимодействия между аналоговыми и цифровыми сигналами следует разделить аналоговую и цифровую «землю» на отдельные изолированные полигоны или слои многослойной печатной платы (МПП) и соединить их в системной заземляющей точке. При таком решении аналоговые блоки будут располагаться на аналоговых полигонах «земли» и питания, а цифровые – только на цифровых полигонах. При этом важно не допускать перекрытия полигонов аналоговых и цифровых цепей для предотвращения проникновения электромагнитных помех от работы цифровых компонентов в аналоговую схему.

Таким образом, правильный подход к проектированию печатной платы позволит уменьшить электромагнитные помехи при работе схемы. Этот подход заключается в соблюдении следующих рекомендаций.

1. Не допустимо формирование на печатной плате замкнутых контуров.
2. Возвратные токи цифровой схемы не должны проходить через аналоговую схему.
3. Для заземления использовать соединение типа «звезда». В многослойных печатных платах необходимо создание отдельных слоев «земли» и питания.

4. Аналоговые и цифровые блоки, высокочастотные и низкочастотные узлы следует располагать отдельно друг от друга.

5. Проектируя высокочастотные блоки следует располагать компоненты наиболее компактно используя сигнальные трассы минимальной длины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боцман А.С. Обеспечение ЭМС радиоэлектронных модулей на этапе трассировки печатных плат / Боцман А.С., Жарикова И.В. // Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи. – 2016. – С. 31–33.

2. Сабунин А.Е. Размещение компонентов на плате и трассировка печатных проводников // Современная электроника. – 2009. – № 2. – С. 2–11.

3. Щерба А. Проектирование печатной платы для динамически программируемых аналоговых микросхем Anadigm // Компоненты и технологии. 2011. – № 11. – С. 57–60.

4. Мазжерина О.В. Многослойная печатная плата как основа конструкции / Филичев Г.О., Левченко В.И. // Наука, образование, бизнес. – 2014. – С. 333–336.

ОБЗОР СПОСОБОВ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНЫХ СЕТОК

М.А. Зуева, магистрант

*Научный руководитель С.П. Куксенко, к.т.н., доцент каф. ТУ
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, zueva_ria@mail.ru*

Жизнь современного человека сегодня практически невозможно представить без различных электронных, электротехнических и радиоэлектронных устройств, разнообразие которых с каждым годом становится все больше. Вместе с тем, работа этих технических средств (ТС), создает в большей или меньшей степени различные электромагнитные помехи. В результате действия таких помех возникают различные нарушения в работе оборудования, приводящие к выходу его из строя, авариям и сбоям. Поэтому обеспечение требований электромагнитной совместимости на сегодня одна из основных задач проектирования таких ТС. Часто прибегают к компьютерному моделированию, которое представляет огромный интерес, поскольку позволяет проводить предварительный расчет и анализ исследуемой модели. При этом одним из требований является обеспечение высокой точности расчетов при адекватных вычислительных затратах. Эта проблема может быть решена с помощью адаптивных сеток [1].

Цель работы – обзор особенностей построения адаптивных сеток.

При моделировании требуемой структуры, она, прежде всего, заменяется геометрической моделью и далее создается начальная расчетная сетка. Построение сетки, т.е. дискретизация (сегментация) – это процесс разделения модели на небольшие части (симплексы). Сеть узлов и элементов называется сеткой.

В зависимости от типа структуры для построения сетки используются следующие геометрические симплексы: отрезки, треугольники, прямоугольники – при двумерной геометрии; тетраэдры, гексаэдры, призмы, пирамиды – при трехмерной. Выбор симплекса обусловлен типом поставленной задачи, объемами вычислительных ресурсов и требуемой точностью решения. Отрезки применяются при анализе, основанном на поперечном сечении исследуемого объекта. Треугольники дают возможность более точного описания структуры практически любой формы, однако, в данном случае требуются существенные вычислительные ресурсы, поскольку будет построено и рассчитано большее число ячеек, чем при использовании прямоугольников. Также возможно их комбинирование.

По умолчанию, большинство систем проектирования строит равномерную сетку, которая не всегда обеспечивает заданную точность решения. Измельчение сетки на всей исследуемой структуре также не является уместным, поскольку неоправданно сильно увеличивает вычислительные ресурсы и время решения. Поэтому целесообразным является использование адаптивной сетки. При этом сначала строится грубая сетка, затем итерационно добавляются новые узлы в местах, характеризующихся высокой погрешностью (рис. 1 **Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

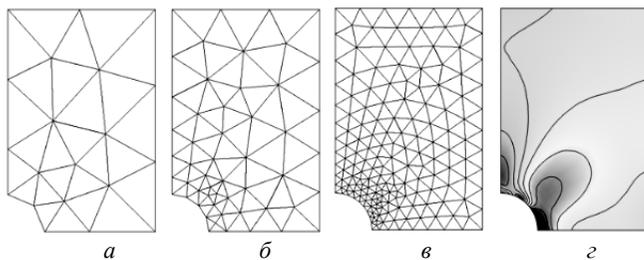


Рис. 1. Грубая сетка (а), процесс измельчения (б–в) и рассчитанная картина поля (г)

На сегодняшний день известно множество методов адаптивной сегментации, однако, большинство из них недостаточно надежны, а некоторые и вовсе весьма трудоемки и не могут быть универсально использованы для моделирования сложных структур. В большинстве

случаев, применение методов построения сетки сводится к заданию исходных условий требуемой точности (индикаторов), далее формируется массив точек, по которым в последствие строится сетка, и проверяется соответствие заданных условий и сходимость решения. На основе индикаторов, выбирается некоторый набор точек для учащения сетки. В качестве индикатора может выступать некоторый параметр (заряд, ток, плотность заряда, плотность тока, электрический потенциал и др.), на основании значений которого, точки, по которым будет проведено дальнейшее учащение сетки, могут быть выбраны таким образом, чтобы решение сходилось при наименьшем количестве ячеек в сетке [2].

Поскольку при построении адаптивной сетки имеется возможность ее учащения только на выборочных участках, чаще всего применяют именно треугольную сегментацию (триангуляцию). Известно, что для получения достоверных результатов, необходимо, чтобы качество треугольника сетки стремилось к единице [3], т.е. треугольники должны быть равносторонними, насколько это возможно, поскольку элементы с острыми углами и существенно различающимися сторонами дают больше ошибок. Качество треугольника определяется как:

$$q = \frac{4S\sqrt{3}}{h_1^2 + h_2^2 + h_3^2},$$

где h_1, h_2, h_3 – стороны треугольника, S – его площадь. Приемлемым считается коэффициент качества $q > 0,6$. Когда $q < 0,6$ треугольники измельчаются посредством добавления новых узлов сетки в центре ребер. Возможны два случая: добавляются три новых узла на трех ребрах любого из рассматриваемых треугольников или новые узлы добавляются только на основаниях и на смежном ребре двух рассматриваемых треугольников. Узлы на всех ребрах, включая старые и новые, могут быть добавлены к массиву новых узлов.

Теоретически, чем больше использовано элементов, тем точнее решение, но выше вычислительные затраты. Однако после определённой малости размеров сетки погрешность начинает снова увеличиваться, поскольку отдельные её элементы становятся очень маленькими, и из-за ошибок округления некоторые числа не могут быть точно представлены на компьютере. Эта проблема присуща всем вычислительным методам.

Многие численные методы, используемые при моделировании, такие как метод моментов, метод конечных элементов, метод граничных элементов, метод конечных разностей и метод конечных разностей во временной области, используют алгоритмы построения адаптивных сеток при решении различных задач [2–5].

Таким образом, рассмотрены основные подходы к построению адаптивных сетей, широко используемые в системах автоматизированного проектирования. Они позволяют итерационно в местах сильного изменения анализируемого параметра утачать сегментацию и тем самым при незначительном увеличении вычислительных затрат существенно повысить точность моделирования.

Работа выполнена в рамках проекта 8.9562.2017/8.9 Минобрнауки России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев А.С. Разработка методов построения адаптивных сетей / А.С. Лебедев, В.Д. Лисейкин, Г.С. Хакимзянов // Вычислительные технологии. – 2002. – Т. 7, №3. – С. 29–43.

2. Das A. Efficient adaptive mesh refinement for MoM-based package-board 3D full-wave extraction / A. Das, R.R. Nair, D. Gope // IEEE 22nd. Conference on Electrical Performance of Electronic Packaging and Systems (EPEPS). – 2013. – P. 239–242.

3. Makarov S.N. Low-frequency electromagnetic modeling for electrical and biological systems using MATLAB / S.N. Makarov, G.M. Noetscher, A. Nazarian // John Wiley & Sons Inc. – 2016.

4. Objective selection of minimum acceptable mesh refinement for EMC simulations / A.P. Duffy, Z. Gang, S. Koziel, W. Lixin // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2015. – Vol. 57, No. 5. – P. 1266–1269.

5. Захарова А.А. Минимизация размерности трехмерных моделей нефтегазовых месторождений / А.А. Захарова // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309, № 7. – С. 55–59.

ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ В КАНАЛАХ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

М.Д. Дягилев, инженер-конструктор, АО «НПЦ «Полюс»; И.А.

Козырев, студент, каф. РЗИ, ТУСУР

Научный руководитель Л.А. Гоголина, с.н.с., к.т.н.

г. Томск, АО «НПЦ «Полюс», info@polus-tomsk.ru

Существуют многочисленные способы борьбы с помехами в информационных каналах автоматических устройств [1]. Эффективность их применения при обеспечении работоспособности устройств электропривода имеет свои особенности, поскольку рассматриваются несколько каналов связи различного назначения и аппаратного исполнения в условиях близкого расположения источников внутренних помех (силовой ключ, контакторы, двигатель-коммутатор) и дополнительных внешних помех (нормального и общего вида) [2]. В заданных условиях помеховой обстановки на множество линий связи воздейст-

вуют одновременно несколько возмущающих факторов, сбивая информацию, передаваемую внутри систем (узлов) электропривода. В таких условиях более эффективны специальные схемные и конструктивные способы борьбы с помехами.

Исходя из сказанного, необходимо провести анализ способов и выработать рекомендации по повышению помехоустойчивости электропривода.

Электропривод представляет собой комплекс объектов (преобразователь, электродвигатель), соединенных кабелями длиной в десятки метров (рис. 1).

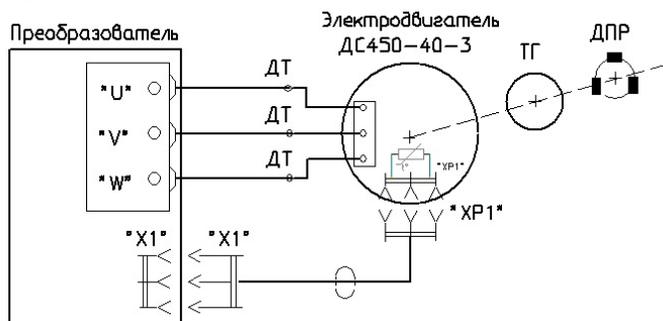


Рис. 1. Структурная схема электропривода

В электродвигателе установлены датчики, формирующие цифровые и аналоговые сигналы (табл.).

Тип и параметры датчиков, примененных в схеме

Условное обозначение на структурной схеме	Основное функциональное назначение	Основные параметры в нормальных климатических условиях	Обозначение документации
1	2	3	4
r°	Датчик тепловой защиты	Активное сопротивление обмотки (150 ± 3) Ом*	-
ДПР	Датчик положения ротора магнито-управляемая микросхема 1116КП8 на эффекте Холла)	Напряжение питания ($5 \pm 0,5$) В; выходное напряжение низкого уровня не более 0,4 В, ток потребления не более 6 мА	АЕЯР.431160. 661 ТУ
ДТ	Датчик-трансформатор тока LT300-S/SP50	Номинальный входной ток 300 А, номинальный выходной ток 100 мА, напряжение питания (двуполярное) ± 12 В	ТУ 3413-001-00512622-2002

Продолжение табл.

1	2	3	4
ТГ	Тахогенератор	Частота от 0 до 200 Гц, сигнал аналоговый, синусоидальный 3-фазный, амплитуда 10 В при частоте 3000 об/мин	-
<p>* Сопротивление обмоток, Ом, привести к температуре окружающей среды 20 °С по формуле</p> $R_{20} = R_{t_B} \frac{255}{t_B + 235},$ <p>где R_{t_B} – сопротивление обмотки при температуре t_B, Ом; t_B – температура окружающей обмотку воздуха, °С.</p>			

Для исправления ошибок, источником которых являются внутренние и внешние помехи, а также для повышения помехоустойчивости каналов передачи информации и системы в целом предлагаются способы и особенности размещения устройств формирования и обработки информации непосредственно на электродвигателе и конструктивные приемы их реализации (экранировка, установка фильтров).

ЛИТЕРАТУРА

1. Харкевич А.А. Борьба с помехами. – М. : Наука, 1965. – 279 с.
2. Гурвич И.С. Защита ЭВМ от внешних помех. – 2-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

ПОДСЕКЦИЯ 2.7

СВЕТОДИОДЫ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

*Председатель – Туев В.И., зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.
зам. председателя – Вилисов А.А., проф. каф. РЭТЭМ, д.т.н.*

МЕТОДЫ ТЕПЛООВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

К.Н. Афонин, аспирант каф. РЭТЭМ

Научный руководитель В.И. Туев, зав.каф. РЭТЭМ, д.т.н.

При конструировании осветительных приборов инженер сталкивается с различными задачами и, в том числе, с задачами теплоотвода. В светодиодных источниках света задача теплоотвода имеет очень важное значение. От выбранного теплового режима будет зависеть световой поток и срок службы светодиода. Так, например, для мощных светодиодов компании CREE зависимость светового потока и срока службы от рабочей температуры приведены в [1]. В работе [2] показано, что снижение рабочей температуры светодиода на один градус приводит к увеличению срока службы на 1,5–2 тысячи часов. Поэтому для создания эффективного светодиодного источника света важно определить его рабочую температуру (с учетом температуры окружающей среды) и способы отвода тепла на этапе проектирования с использованием расчетных методов математического моделирования.

Цель работы – выбор метода теплового моделирования, подходящего для решения задач определения рабочей температуры светодиодного светоизлучающего прибора и выявления способов отвода тепла.

Для достижения цели необходимо рассмотреть существующие методы расчета процесса теплопереноса, сравнить их и определить программную реализацию метода в виде системы автоматизированного проектирования (САПР).

Задачи, связанные с передачей тепла от одного тела к другому путем соприкосновения, сводятся к изучению изменения температуры в пространстве и времени. Уравнение теплопроводности – дифференциальное уравнение второго порядка с частными производными, ус-

танавливающей зависимость между температурой (T), временем (τ), и координатами тела [3]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \nabla^2 T, \quad (1)$$

где $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа; a – коэффициент температуропроводности.

Советский теплофизик, профессор, академик и изобретатель А.В. Лыков в своей монографии [3] приводит основные методы решения данного уравнения теплопроводности.

Классические методы

1. Метод разделения переменных (метод Фурье) заключается в нахождении совокупности частных решений, удовлетворяющих уравнению и граничным условиям. При этом частное решение находят в виде произведения двух функций, одна из которых зависит только от координат, а другая только от времени. Но частным решением нельзя воспользоваться для расчета температурного поля из-за невозможности определить постоянные коэффициенты. В таком случае для общего решения значения неизвестных коэффициентов определяются путем подбора для удовлетворения решения начальному условию. Это усложняет решение и увеличивает объем расчетов.

2. Метод источников подразумевает рассмотрение любого процесса распространения тепла в теле теплопроводностью в виде совокупности процессов выравнивания температуры от множества элементарных источников тепла. Решение задачи теплопроводности в таком рассмотрении сводится к верному выбору источников и их распределению. Вычисления по данному методу также объемны и трудоемки.

Из двух кратко рассмотренных методов чаще используется метод разделения переменных. Он больше всего подходит для решения одномерных задач, связанных с нахождением симметричного температурного поля в неограниченной пластине, цилиндре, шаре.

Методы интегрального преобразования

1. *Интегральное преобразование Лапласа.* Данный метод обладает следующими преимуществами перед классическими методами:

- процесс применения метода однотипен для задач с различными граничными условиями и применим к телам различной геометрии;
- облегчает решение для задач с простыми начальными условиями;
- наиболее эффективен при применении для тел с полуограниченной или неограниченной протяженностью.

Также метод имеет недостатки. Например, возникают сложности в решении, когда начальные условия задачи представлены в виде функции в пространственных координатах, а также при решении многомерных задач.

2. *Конечные интегральные преобразования.* К появлению данной группы методов привела необходимость определять решение уравнения в некоей конечной области значений. Конечные интегральные преобразования берут существенное преимущество перед классическими методами, потому что они дают возможность получить ряд закономерностей протекания физических процессов на основе анализа решения исследуемой физической величины.

Численные методы

1. *Метод конечных разностей* (метод сеток). Сущность метода заключается в замене производных их приближенным значением. Такие значения выражаются через разности значений функции в отдельных точках – узлах сетки. В результате получаем замену дифференциального уравнения эквивалентными соотношениями в конечных разностях, решение которых сводится к выполнению простых алгебраических операций. Повторяемость одинаковых операций при расчете полей температуры создает большие удобства для реализации метода на вычислительной технике, что сделало применение сеточных методов самыми перспективными для задач теплопереноса.

2. *Метод конечных элементов* (МКЭ). Это наиболее распространенный метод решения задач с дифференциальными уравнениями с частными производными. Он лежит в основе подавляющего большинства современных программных комплексов, предназначенных для выполнения расчетов на ЭВМ. Диапазон его применения чрезвычайно широк: строительство и машиностроение, гидро- и аэродинамика, горное дело и новейшая техника, а также различные задачи математической физики – теплопроводности, фильтрации, распространения волн и др.

Метод конечных элементов, как и другие численные методы, основан на представлении реальной конструкции ее дискретной моделью и замене дифференциальных уравнений алгебраическими. Суть метода заключается в том, что исследуемая область (одно-, двух- или трехмерная) разбивается на некоторое число малых, но конечных по размерам подобластей (рис. 1) – конечных элементов (КЭ). Процесс разбивки называют дискретизацией.

По сравнению с другими численными методами МКЭ в лучшей степени алгоритмизирован и более гибок при описании геометрии и граничных условий рассчитываемой области. Кроме того, к достоин-

ствам метода следует отнести его физическую наглядность и универсальность. В современных условиях большой объем вычислений не является серьезной проблемой, и, в связи с этим, при внедрении ЭВМ в инженерную практику МКЭ получил широчайшее распространение [4–7].

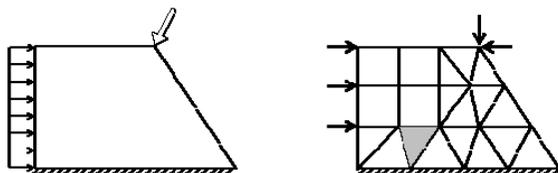


Рис. 1

МКЭ реализован в таких широко распространенных САПР как Ansys, Autodesk, SolidWorks и др. В работе [8] приведен пример использования Ansys для расчета светодиодной ленты на радиаторе с учетом окружающей температуры. Авторы статьи получили наглядное распределение температуры с течением времени для лент мощностью 0,54; 0,75 и 1 Вт.

Выводы. Таким образом, самый подходящий метод моделирования для решения задач определения рабочей температуры светодиодного светоизлучающего прибора и выявления способов отвода тепла является метод конечных элементов, реализованный в САПР Ansys.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гонин М. Спасительная прохлада, или теплоотвод для мощных светодиодных матриц // Новости электроники + светотехника. – 2013. – № 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.compel.ru>. – (дата обращения: 28.02.2018).
2. Тукшаитов Р. Как обеспечить заявленный срок службы светодиодных ламп / Р. Тукшаитов, Исыхакэфу // Полупроводниковая светотехника. – 2016. – №3. – С. 8–11.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
4. Бате Л. Численные методы анализа и метод конечных элементов / Л. Бате, Е. Вилсон. – М.: Стройиздат, 1982. – 448 с.
5. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы. – М.: Мир, 1984. – 428 с.
6. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике / О.К. Зенкевич, И. Чанг. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
7. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошных сред. – М.: Недра, 1974. – 239 с.
8. Hui Huang Cheng. Heat dissipation design and analysis of high power LED array using the finite element method / Hui Huang Cheng, De-Shau Huang, Ming-Tzer Lin // Microelectronics Reliability. – 2012. –V. 52. – С. 905–911.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ УЧЕБНЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Е.С. Гайбович, Е.С. Загородняя, В.С. Парамонов, студенты

*Научный руководитель А.Ю. Олисовец, инж. каф. РЭТЭМ
г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, celll@list.ru, evgen119966@ya.ru, ,
vvhappy@mail.ru, sergeklo760518@mail.ru*

*Проект ГПО РЭТЭМ-1803 «Безопасность на объектах,
использующих светодиодное освещение»*

В настоящее время в связи с широким развитием светодиодного освещения в мире всё чаще стали проявляться проблемы, связанные с его качеством.

Часто при проектировании искусственного полупроводникового освещения пренебрегают требованиями нормативных стандартов [1], вследствие чего могут возникнуть проблемы со здоровьем, снижение работоспособности, потеря концентрации.

Целью данной работы является исследование основных требований при проектировании светодиодного освещения для учебных и производственных помещений.

При проектировании светодиодного освещения необходимо учитывать основное назначение, площадь и высоту помещений [1]. Освещение промышленных или учебных аудиторий должно соответствовать следующим требованиям: надежность, безопасность, эффективность и экономичность. Нормы освещенности помещений регламентируются СНиП 23-05-95 [2] с учетом категорий зрительной работы, фоновых параметров, контрастности объектов, продолжительности работы.

ГОСТ Р 55710–2013 [3] содержит информацию о нормах искусственного освещения рабочих мест внутри зданий при проектировании, реконструкции и эксплуатации осветительных установок и методы их измерений. Согласно данному стандарту для освещения учебных помещений светильники должны иметь качественные рассеиватели, габаритная яркость не более 5000 кд/м², рекомендуемая цветовая температура 4000 К. Не допускается использовать при освещении учебных зданий светильники с точечным свечением. Освещение производственных помещений должно обеспечивать безопасность, высокую производительность труда и комфорт работников.

На сегодняшний день существует два подхода к проектированию освещения: традиционные и современные методы.

К традиционным методам относят метод коэффициента использования, суть которого заключается в вычислении коэффициента ис-

пользования светового потока для каждого помещения, исходя из основных параметров помещения и светоотражающих свойств отделочных материалов [4].

На смену традиционным методам приходят другие, суть которых состоит в использовании современных программных продуктов, таких как, например, DIALux, Формула света, CalculuX.

В данной статье рассмотрено проектирование искусственного освещения с использованием программного обеспечения DIALux.

DIALux – это программное обеспечение (ПО) для 3D-графики, которое используется для профессионального планирования освещения в помещениях и на открытом воздухе [5]. С помощью данного ПО имеется возможность моделирования помещения, создание его интерьера, а также присвоение материала поверхностей внутренней отделки помещений. Программа позволяет размещать светильники, как в ручную, так и автоматически. Сам светильник можно выбрать из базы данных этой программы.

Многие производители ламп и светильников предлагают плагины, которые могут использоваться для передачи данных о световых приборах (в частности, характеристик излучения).

Перед применением на практике полученной информации, нужно уточнить, совпадают ли полученные значения, предоставленные программой с реально измеренными показаниями люксметра.

Для этого был проведен эксперимент, суть которого заключалась в сравнении результатов расчета освещенности спроектированного реально существующего помещения с результатами измерения освещенности в данном помещении с помощью люксметра.

Для выполнения эксперимента в качестве объекта моделирования была выбрана лаборатория химии и технологии органических материалов (ЛХиТОМ). В программе DIALux EVO была создана 3D модель помещения, расставлено оборудование, заданы материалы поверхностей, а также выбраны и размещены осветительные приборы. Далее был произведен расчет освещенности. Модель помещения и координаты четырех точек измерения показаны на рис. 1.

Также были проведены замеры освещенности в лаборатории в четырех разных точках, рассчитана средняя освещенность в помещении по формуле (1). Замеры проведены с помощью люксметра-пульсметра ТКА-ПКМ 09. Результаты измерения, значения средней освещенности, а также значения полученные программой, представлены в таблице.

$$E_{\text{ср}} = (\sum E_i) / N, \quad (1)$$

где $E_{\text{ср}}$ – средняя освещенность; E_i – освещенность в точке; N – количество точек измерения.

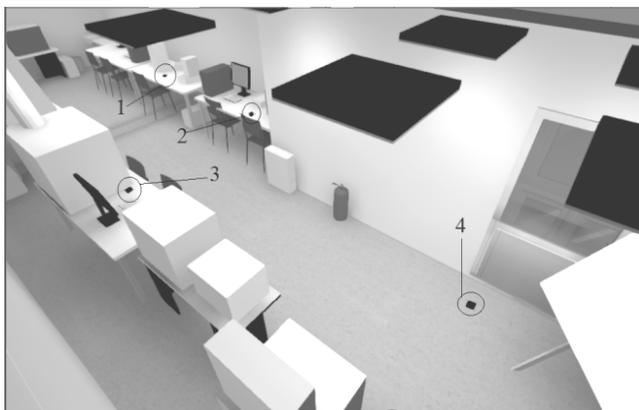


Рис. 1. 3D-модель помещения: 1, 2, 3 и 4 – точки измерения освещенности

Результаты расчета и измерения освещенности

Точка измерения	Значения в программе DIALux, лк	Реальные значения освещенности, лк
1	601	561
2	650	623
3	618	640
4	1052	1038
$E_{\text{ср}}$	486	446

По формуле (2) рассчитана средняя погрешность между реальными и экспериментально полученными данными.

$$\delta_{\text{ср}} = \frac{\sum |E_{\text{п},i} - E_{\text{р},i}|}{N}, \quad (2)$$

где $\delta_{\text{ср}}$ – средняя погрешность; $E_{\text{п},i}$ – освещенность в программе; $E_{\text{р},i}$ – освещенность реальная; N – количество значений.

Погрешность между значениями составляет 25,6 лк. Данная погрешность входит в диапазон значений относительной погрешности люксметра, которая составляет 8%.

Таким образом, в данной работе были рассмотрены основные нормы и методы проектирования освещения для учебных и производственных помещений.

По результатам эксперимента было проведено сравнение данных расчета программы DIALux EVO с измеренными значениями. Данный эксперимент подтвердил адекватность значений, полученных при помощи ПО, что дает возможность использовать программу DIALux EVO для проектирования искусственного освещения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шуберт Ф.Е. Светодиоды / Пер.с англ. под ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
2. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение (с изменением № 1). – Введ. 1996-01-01. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. – 53 с.
3. ГОСТ Р 55710–2013. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. – Введ. 2014-07-01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 20 с.
4. Кнорринг Г.М., Фадин И.М., Сидоров В.Н. Справочная книга для проектирования электрического освещения. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Энергомиздат. Санкт-Петербургская отд., 1992. – 448 с.
5. DIALux Help расчет и проектирование освещения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dialux-help.ru/dialux-evo> (дата обращения: 18.02.2018).

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИСКУССТВЕННОГО ОБЛУЧЕНИЯ РАСТЕНИЙ СВЕТОДИОДНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ СВЕТА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ ТЕПЛИЦ

А.Ю. Хомяков, студент; Ю.В. Юлаева, аспирант

*Научный руководитель В.И. Туев, зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, khotyakov.a.yu@gmail.com*

Для выполнения исследований реализуемых в рамках научной работы студентов, была поставлена задача по освоению методов измерений параметров средней горизонтальной облученности и равномерности облучения растений светодиодными источниками света в производственных помещениях теплиц.

Методы измерения параметров искусственного облучения растений светодиодными источниками света в установках для облучения растений сверху и в многоярусных установках стеллажного типа устанавливаются ПНСТ 211-17 «Облучение растений светодиодными источниками света. Методы измерения».

В производственных помещениях теплиц, имеющих источники облучения, установленные сверху, проводят измерение при отсутствии растений.

Перед измерениями облученности в производственных помещениях теплиц выбираются и наносятся на план помещения точки для измерения облученности с указанием размещения облучательных приборов.

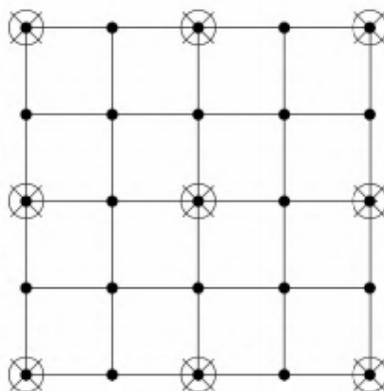
Измерения проводят в горизонтальной плоскости посадки (в пределах прямоугольного контрольного участка, образуемого проекциями центральных точек девяти приборов (3×3), расположенных таким

образом, чтобы между любым из них и дорожкой, технологическим проходом или стенкой теплицы находилось не менее четырех приборов. Контрольные точки измерения горизонтальной облученности размещают в пределах контрольного участка по схеме, приведенной на рис. 1 [1].

В случае измерения спектрометрическим прибором спектральной плотности энергетической облученности в области фотосинтетически активной радиации (ФАР) в диапазоне от 400 до 700 нм облученность $E_{\text{ФАР}}$, мкмоль/(с·м²), рассчитывают по формуле:

$$E_{\text{ФАР}} = \int_{400 \text{ нм}}^{700 \text{ нм}} E_{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{h \cdot c \cdot N_{\text{A}}} d\lambda = K \int_{400 \text{ нм}}^{700 \text{ нм}} E_{\lambda} \cdot \lambda \cdot d\lambda,$$

где E_{λ} – спектральная плотность энергетической облученности, Вт/(м²·с); λ – длина волны, нм; $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка; $c = 3 \cdot 10^{17}$ нм/с – скорость света; $N_{\text{A}} = 6,022 \cdot 10^{17}$ мкмоль⁻¹ – число Авогадро; $K = 8,36 \cdot 10^{-3}$ мкмоль⁻¹·нм⁻¹·Дж⁻¹ – коэффициент [1,2].



⊗ – проекция центра прибора на плоскость измерения;
● – контрольная точка

Рис. 1. Точки измерения горизонтальной облученности

Среднюю горизонтальную облученность $E_{\text{ср}}$ определяют, как среднеарифметическое горизонтальной облученности в контрольных точках по формуле:

$$E_{\text{ср}} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N E_i,$$

где E_i – горизонтальная облученность в контрольной точки i , мкмоль/(с·м²); N – число контрольных измерений.

Равномерность облученности U определяют как отношение минимального значения измеренной облученности E_{\min} ее среднему значению $E_{\text{ср}}$:

$$U = E_{\min} / E_{\text{ср}}.$$

Результаты измерения заносят в протокол. Протокол измерений должен быть оформлен на бланке организации, проводящей измерение, подписан и утвержден уполномоченными лицами [1].

Общая часть протокола должна содержать следующую информацию:

- дата, время и место измерений;
- напряжение питающей сети до и после измерений;
- сведения о средствах измерений (тип, дата свидетельства о поверке);
- назначение облучательной установки (для облучения растений сверху; для облучения растений в многоярусных установках стеллажного типа; для дополнительного облучения растений в объеме ценоза);
- схема расположения приборов с указанием размеров;
- местоположение контрольного участка;
- сетка точек измерений.

Раздел протокола «Результаты измерений» должен содержать:

- таблицу значений горизонтальной и/или вертикальной облученности, измеренных в контрольных точках;
- рассчитанные фактические значения средней горизонтальной облученности и равномерности горизонтальной облученности.

Таким образом, исходя из вышеизложенного, можно считать, что поставленная задача, выполнена в полном объеме [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. ПНСТ 211-17 Облучение растений светодиодными источниками света. Методы измерения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://allgosts.ru/29/140/pnst_211-2017 (дата обращения: 12.03.2018).
2. ГОСТ Р 57671 Приборы облучательные со светодиодными источниками света для теплиц. Общие технические условия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200147051> (дата обращения: 12.03.2018).

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА TRACERPRO ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДНОГО ИЗЛУЧАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА

Ю.В. Юлаева, аспирант; А.Ю. Хомяков, аспирант

Научный руководитель В.И. Туев, зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, vasilii.i.tuev@tusur.ru

Целью работы является определение оптических характеристик светодиода и светодиодного излучающего элемента (СИЭ) в программном комплексе TracePro.

Компьютерное моделирование проводилось с помощью программы оптико-механического моделирования Trace Pro 7.8. Программа позволяет создавать трехмерные модели оптико-механических систем и проводить анализ распределения освещенности в системе, учитывая рассеяние, отражение, поглощение, дифракцию света, трассировка лучей методом Монте-Карло. Поддерживает экспорт/импорт во все известные 3D форматы. Программа была выбрана так как позволяет решить конкретную задачу, которая заключается в определении кривой силы света, не требовательна к ресурсам системы, не перегружена дополнительным функционалом, который замедляет процесс моделирования и осложняет работу разработчика [1].

Компьютерное моделирование оптических систем заключается в следующем: построение трехмерной геометрической твердотельной компьютерной модели, задание параметров используемых материалов, задание параметров излучающих элементов и собственно расчет. Было проведено создание 3D-моделей, модели были импортированы в среду оптического моделирования. Параметры светоизлучающих элементов были получены экспериментально, а также взяты из описания производителя. Результаты расчета было решено представлять в виде диаграммы кривой силы света (КСС) в полярных координатах, т.к. это наиболее наглядный и информативный способ представления результатов.

Светодиоды, располагаемые на подложке, представлены в виде прямоугольных параллелепипедов с габаритными размерами (рис. 1) [2]: длина – 585 мкм; ширина – 260 мкм; высота – 90 мкм; количество кристаллов светодиодов – 20 шт.

Программными средствами рассчитаны пространственное распределение света в виде КСС для одного кристалла (рис. 2).

Для анализа светораспределения источника в TracePro можно использовать его модель, созданную в других системах (например, SolidWorks, Autodesk Inventor 2015) или воспользоваться готовыми файлами, предоставляемыми разработчиками.



Рис. 1. 3D-модель излучающего элемента ленточной структуры

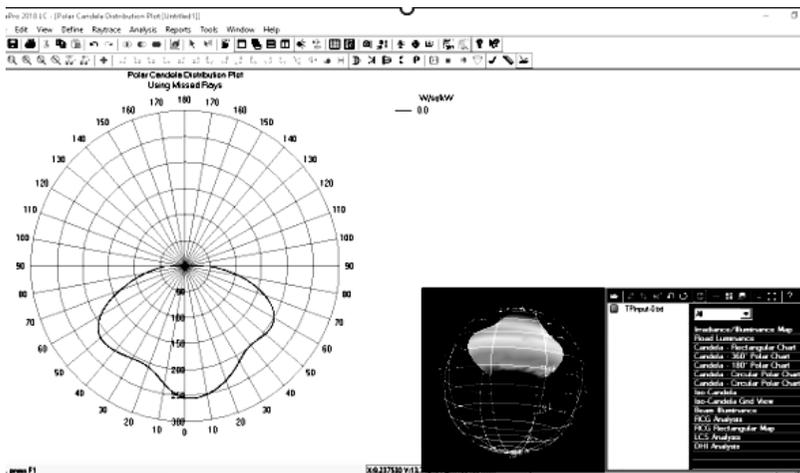


Рис. 2. Пространственное распределение света

Заключение. В работе исследованы особенности программного обеспечения TrancePro для оптического моделирования светодиодов и построения их КСС. Проведено моделирование распределения КСС светодиодного излучающего элемента. Далее необходимо измерить распределение КСС образца СИЭ для оценки соответствия характеристик полученных методом моделирования и путем прямого измерения на гониофотометре.

ЛИТЕРАТУРА

1. TrancePro [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.lambdares.com/trancepro/> (дата обращения: 10.02.2018)

2. Afonin K.N., Olisovets A.Y., Ryapolova Y.V. et al. LED Lamp Design Optimizing on Minimum Non-Uniformity of Light Intensity Distribution in Space // 2016 13th International Scientific-Technical Conference APEIE. – 2016, Novosibirsk. – Vol. 1, part 2. – P. 153–156.

ЗАХВАТ И ЭМИССИЯ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА КВАНТОВОЙ ЯМОЙ В 3D-ПОЛУПРОВОДНИКАХ

О.А. Каранкевич, студентка каф. ЭП

*Научный руководитель В.Н. Давыдов, д.ф.-м.н., проф.
г. Томск, ТУСУР, каф. ЭП, okarankevich@inbox.ru*

На сегодняшний день 3D-полупроводники широко используются в промышленности для создания светоизлучающих приборов (светодиодов и лазеров), транзисторов, модуляторов светового излучения.

В реальных гетероструктурах процесс захвата носителей заряда КЯ всегда сопровождается обратным процессом – эмиссией ранее захваченных носителей из ямы в барьерный слой, что приводит к уменьшению тока инжекции в КЯ, а значит, снижает величину излучаемой ГС световой мощности [1]. Несмотря на важность данного параметра, для оценки выходных характеристик источников когерентного и некогерентного излучения работ с детальным рассмотрением выброса носителей из КЯ практически нет.

В работе рассмотрен классический подход к механизму захвата и эмиссии носителей заряда из квантовой ямы (КЯ) [2]. Также, было учтено влияние глубины уровня залегания на распределение носителей заряда в КЯ. С учетом этого были получены кинетические выражения для изменения концентрации электронов и дырок в зоне проводимости и, соответственно, в зоне валентности.

Составление кинетических уравнений. Представление о процессе захвата и эмиссии носителей заряда КЯ основано на модели каскадного захвата и, как обратного ему процесса, – эмиссии электронов с испусканием фононов [3].

Рассмотрим изменение концентрации электронов в зоне проводимости на примере классической модели Шокли-Рида по заполнению и опустошению глубокого уровня энергии свободными носителями заряда. Ограничимся рассмотрением первых трех уровней размерного квантования $n = 1, 2$ и 3 в идеальной квантовой яме. Неравновесные носители заряда могут появиться в полупроводнике при возбуждении светом, при бомбардировке электронами или другими частицами, а также при инжекции. Возникают неравновесные носители в виде электронно-дырочных пар.

Процесс изменение концентрации электронов в зоне проводимости E_C характеризуется двумя механизмами: захватом и эмиссией (рис. 1).

Захват свободного электрона на незаполненный центр описывается как $N_t^0 + e \rightarrow N_t^-$, с сечением захвата σ_n и скоростью захвата v_n ($c_{nt} = \sigma_n^0 \cdot v_n$). Скорость захвата электронов пропорциональна концентрации электронов в зоне проводимости $n_0(x_{КЯ})$ и концентрации незаполненных электронами центров $n_{2D}(1 - f(E_n))$, где $f(E_n)$ – функция распределения Ферми-Дирака.

Возбуждение электрона с энергетического уровня определяется скоростью возбуждения и концентрацией заполненных центров $N_t \cdot f_n$.

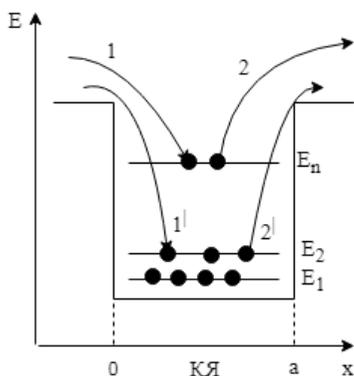


Рис. 1. Схематическое изображение прямоугольной квантовой ямы в объемном полупроводнике. Механизм захвата и эмиссии обозначен цифрами 1 и 2, соответственно

Однако классический подход к построению модели захвата-эмиссии имеет серьезный недостаток, обусловленный игнорированием различия природы центра захвата в виде глубокого уровня и состояния в КЯ, а также учета глубины залегания уровня при эмиссии.

В стационарном состоянии нижние уровни энергии мини-зоны проводимости КЯ могут оказаться постоянно занятыми. Поэтому для захвата (эмиссии) ямой в результате столкновений электрон должен потерять при захвате и приобрести при эмиссии энергию.

При механизме захвата электрона КЯ необходимо учесть некоторые особенности определяющих захват взаимодействий. Первая особенность заключается в том, что захват свободного носителя заряда квантовой ямой произойдет, если электрон, находясь над квантовой ямой, за счет столкновений с фононами, дефектами решетки, границами «барьер – КЯ» уменьшит свою энергию до энергии занимаемого им состояния в КЯ.

Вторая особенность процесса захвата в гетероструктуре с КЯ заключается в том, что захват возможен не для всех электронов. В вы-

ражение для захвата необходимо ввести вероятность того, что в момент первых столкновений электрон должен находиться над КЯ. Только в этом случае он сможет, релаксируя, опуститься в КЯ.

Эмиссию электрона из КЯ в зону проводимости барьерного слоя можно рассматривать как процесс, обратный процессу захвата, но с тем принципиальным различием, что при эмиссии учитывается функция распределения глубины залегания уровня.

Тогда система кинетических уравнений для изменения концентрации электронов в зоне проводимости по трем уровням составляет

$$\begin{cases} \frac{dn_3}{dt} = n_6(x_{\text{КЯ}}) \cdot n_{2D} \cdot \left[c_{nt} \cdot (1 - f_n(E_3)) - e_{nt} \cdot f_n(E_3) \cdot \exp\left(-\frac{\Delta E_{34}}{kT}\right) \right], \\ \frac{dn_2}{dt} = n_{2D}^2 \cdot \left[c_{nt} \cdot f_n(E_3) \cdot (1 - f_n(E_2)) - e_{nt} \cdot f_n(E_2) \cdot (1 - f_n(E_3)) \cdot \exp\left(-\frac{\Delta E_{23}}{kT}\right) \right], \\ \frac{dn_1}{dt} = n_{2D}^2 \cdot \left[c_{nt} \cdot f_n(E_2) \cdot (1 - f_n(E_1)) - e_{nt} \cdot f_n(E_1) \cdot (1 - f_n(E_2)) \cdot \exp\left(-\frac{\Delta E_{12}}{kT}\right) \right]. \end{cases} \quad (1)$$

Аналогично изменение концентрации дырок в валентной зоне

$$\begin{cases} \frac{dp_3}{dt} = p_6(x_{\text{КЯ}}) \cdot p_{2D} \cdot \left[c_{nt} \cdot (1 - f_n(E_3)) - e_{nt} \cdot f_n(E_3) \cdot \exp\left(-\frac{\Delta E_{34}}{kT}\right) \right], \\ \frac{dp_2}{dt} = p_{2D}^2 \cdot \left[c_{nt} \cdot f_n(E_3) \cdot (1 - f_n(E_2)) - e_{nt} \cdot f_n(E_2) \cdot (1 - f_n(E_3)) \cdot \exp\left(-\frac{\Delta E_{23}}{kT}\right) \right], \\ \frac{dp_1}{dt} = p_{2D}^2 \cdot \left[c_{nt} \cdot f_n(E_2) \cdot (1 - f_n(E_1)) - e_{nt} \cdot f_n(E_1) \cdot (1 - f_n(E_2)) \cdot \exp\left(-\frac{\Delta E_{12}}{kT}\right) \right], \end{cases} \quad (2)$$

где $f_n(E_n) = \frac{1}{1 + \exp\left\{\frac{E_n - F}{kT}\right\}}$ – функция распределения Ферми-Дирака.

Время жизни носителей можно определить, как среднее время, которое неравновесные электроны проводят в зоне проводимости. Пусть в полупроводнике, помимо равновесных электронов с концентрацией n_0 , есть неравновесные электроны с концентрацией δn . Если воздействовать на полупроводник, то вследствие протекания процессов рекомбинации R_n и процессом тепловой генерации g_n (4) он возвращается в состояние равновесия (3).

$$\frac{\partial(n_0 + \delta n)}{\partial t} = \frac{\partial n}{\partial t} = g_n - R_n = g_n - \frac{\delta n}{\tau_n}, \quad (3)$$

$$g_n = \eta \cdot I_0 \cdot (1-R) \cdot \frac{1}{h\nu} \cdot \alpha = \eta \cdot I_0 \cdot (1-R) \cdot \frac{1}{h\nu} \cdot \frac{1}{l_{\text{диф}}}, \quad (4)$$

где η – квантовый выход, I_0 – плотность потока, α – коэффициент поглощения, $(1-R)$ – сколько квантов поглотится, R – коэффициент отражения.

В стационарных условиях, когда выражение (3) равно нулю, концентрация неравновесных электронов будет следующим образом зависеть от времени:

$$\delta n = \delta n_0 \cdot \exp\left\{-\frac{t}{\tau_n}\right\} + C, \quad (5)$$

где τ_n – время жизни, в течение которого возбуждение уменьшится в e раз по сравнению со своим исходным значением; C – постоянная интегрирования.

Для получения выражения для времени захвата электрона КЯ необходимо учесть некоторые особенности определяющих захват взаимодействий. Аналогично для эмиссии носителей заряда. Точное решение этой задачи представляется сложным и не является целью данной работы.

Выводы. На основании рассмотрения физической процессов, протекающих при захвате и эмиссии электронов в КЯ, предложена система кинетических уравнений, которая дополняет классическую модель. В данных выражениях учтены вероятности того, что в момент первых столкновений электрон должен находиться над КЯ, а также влияние глубины уровня залегания на распределение носителей заряда в квантовой яме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Давыдов В.Н., Каранкевич О.А. Захват и эмиссия носителей заряда квантовой ямой // Известие высших учебных заведений. Физика. – 2018. – Т. 61, №2. – С. 19–25.
2. Милнс А. Примеси с глубокими уровнями в полупроводниках. – М.: Мир, 1977. – 568 с.
3. Абакумов В.Н. Безизлучательная рекомбинация в полупроводниках / В.Н. Абакумов, В.И. Перель, И.Н. Ясиевич. – СПб.: Петерб. ин-т ядерной физики им. Б.П. Константинова ,РАН.– 1997. – 376 с.

ТОЧНОСТЬ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЦВЕТА В МУЗЕЙНОМ ОСВЕЩЕНИИ

О.Е Котик, магистрант

*Научный руководитель Т.Г. Коржнева, доцент ИШНПТ, к.т.н.
г. Томск, ТПУ, ИШНПТ НИТПУ, olgashandarova@gmail.com*

В музее необходимо подобрать оптимальную цветопередачу, подчеркивающую колористическое решение экспонируемых произведений искусства и смягчить утраты, нанесенные временем. Наилучшей точности воспроизведения цвета можно добиться, если спектральный состав падающего на картину света совпадает с тем, при котором художник создавал свое произведение.

Цель работы. Разработать точное воспроизведение цвета в проектировании осветительной установки музейного освещения.

Для достижения поставленной цели ставились следующие задачи:

- аналитический обзор литературных источников на тему методы измерения и определения индекса цветопередачи источника света;
- проведение расчетов индекса цветопередачи различными методиками. CRI, CQS, TM-30-15;
- компьютерное и натурное моделирование изменения цвета объекта исследования от источников света с различной цветопередачей.

Индекс цветопередачи (CRI colour rendering index, или R_a) – показатель, отражающий естественность цвета объекта к видимому цвету этого объекта под освещением его световым прибором. CRI позволяет определить степень отклонения цветов объекта, освещаемого СП, от его цвета при освещении СП той же цветовой температуры, принятым за эталон.

Значение CRI или $R_a = 100$ присуще естественному дневному солнечному свету (эталонный источник света). Высоким индексом цветопередачи порядка 90 обладают лампы накаливания. Люминесцентные лампы могут иметь индекс цветопередачи 60–80. Индекс цветопередачи светодиодов зависит от качества люминофора и используемых технологий и может составлять от 70 и достигать значения 98 [1].

Существует несколько различных методик расчета индекса цветопередачи:

- CRI (Color Rendering Index) [2];
- CQS (Color Quality Scale) [3];
- IES TM-30-15 [4].

Проведение расчетов индекса цветопередачи. Для расчета были выбраны три светодиодные лампы, первая из которых фирмы ASD производство Китай, Osram и LERADE Икея, Швеция. Заявленные производителями характеристики ламп приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики источников

Название	Цветовая температура, К	Световой поток, лм	Индекс цветопередачи
Osram LS	3000	470	>80
ASD LED-A60	3600–5000	990	>70
LERADE LED	3600–5000	1000	>90

Аналитический расчет. Расчет производится на основе международного документа по расчету цветовой температуры и индекса цветопередачи Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources.

Результаты расчетов индекса цветопередачи, полученные аналитического расчета приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты аналитического расчета

Название	Osram LS	ASD LED	LERADE LED
Индекс цветопередачи	85,597	69,411	67,87

Программный расчет. Программный расчет осуществлялся с помощью онлайн калькулятора индексов цветопередачи CRI, CQS и TM-30-15. Данный калькулятор предназначен для стандартизации на полиграфическом предприятии. Но кроме того он позволяет вычислить по пользовательским спектральным данным используемые в светотехнике и колориметрии индексы качества цветопередачи CRI, CQS и TM-30-15.

Калькулятор принимает спектральные данные соответствующие значениям длин волн. После запуска расчета на экран выводится таблица визуального сравнения цветовых образцов под референсным и тестовым иллюминантами вместе со всеми посчитанными индексами. Чем лучше цветопередача, тем менее заметна разница между цветом плашек в верхних и нижних строчках каждого набора [5].

Результаты, полученные калькулятором индексов цветопередачи приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета с помощью калькулятора

Название	CRI	CQS	TM-30-15
Osram LS	84,7	71,2	$R_f = 83,3$
ASD LED-A60	74	64,9	$R_f = 72,5$
LERADE LED	58,9	80,4	$R_f = 66,0$

Заключение. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод. Существенное различие заявленных характеристик от расчетных имеется у образца (LARADE Швеция), у других двух образцов не такая большая разница, погрешность порядка 5%, что тоже не очень хорошо. Таким образом, при проектировании осветительной установки музея для точного воспроизведения цвета необходимо использовать не заявленные, а реальные характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 55703–2013. Методы измерения спектральных и цветовых характеристик.
2. Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources. CIE Publication 13.3-1995. Central Bureau of the CIE, Vienna, Austria. – 1995. – 20 p.
3. Davis W., Ohno Y. Color quality scale // Optical Engineering. – Vol. 49(3), March 2010.
4. Evaluating Color Rendition Using IES TM-30-15, Solid-State Lighting Technology Fact Sheet, October 2015, Energy Efficiency & Renewable Energy.
5. Сартаков М. Калькулятор индексов цветопередачи CRI и CQS // Современная светотехника. – 2014. – № 6.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Д.С. Дубурс, И.В. Попов, Е.О. Круглов, студенты;

Научный руководитель А.Р. Олисовец, Инженер кафедры РЭТЭМ.

г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, kru.ev@mail.ru

Проект ГПО РЭТЭМ-1801 «Разработка и исследование интеллектуального полупроводникового освещения»

Затраты на потребляемую электроэнергию в наше время растут в геометрической прогрессии. Научно-технический прогресс предлагает все большее количество высокотехнологичного оборудования для работы и жизни. В работе это, как правило, компьютеры, планшеты, сканеры, принтеры, модемы и прочее. Дома – техника для обеспечения быта и развлечений.

Целью данной работы является исследование особенностей проектирования интеллектуального искусственного освещения.

Одной из особенностей является отказ от традиционных ламп в пользу светодиодного освещения.

На рис. 1 представлена эффективность различных систем с использованием различных датчиков [4].

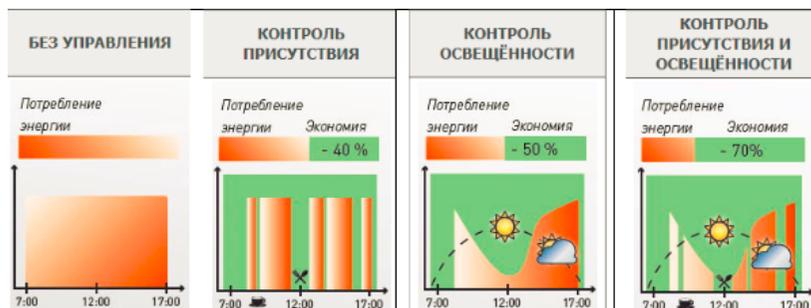


Рис. 1. Теоретическая энергоэффективность систем освещения

Светодиодные лампы отличаются от них не только принципом работы, но и параметрами электропитания [1], что имеет за собой определенные преимущества, а именно:

1. Устойчивость к низким температурам. Не возникает проблем при функционировании при отрицательной температуре, что делает их использование в наружном освещении наиболее практичным.

2. Простота монтажа питания светодиодов, в связи с небольшими габаритами проводов.

3. Экономичность. Светодиодное освещение в настоящий момент является наиболее экономичным нежели любое другое.

4. Безопасность. При утилизации светодиодных ламп не требуется предусматривать специальные меры по утилизации, нежели чем, например, люминесцентные лампы.

5. Управление. Возможность создавать интеллектуальные системы по управлению осветительными приборами [2].

В качестве управления предлагается система, управляющим центром которой является программируемый микроконтроллер Arduino Uno. Он выполнен на базе процессора ATmega328p с тактовой частотой 16 МГц, обладает памятью 32 кБ и имеет 20 контролируемых контактов ввода и вывода для взаимодействия с внешним миром.

Основным и самым главным преимуществом данного микроконтроллера является его простота в эксплуатации и написании программного кода [3].

Взяв за основу аппаратную платформу «Arduino» с подключенным к нему инфракрасным датчиком движения «LHI778 или IRA-E700», используя эффект присутствия (система включается и работает только тогда, когда человек находится в помещении где она установлена), возможно достижение энергоэффективности в 30–35%, что всего на 5–10% отличается от прогнозируемой. Если же подключить датчик освещенности, возможно получить энергоэффективность 40–45%.

Планируется практическая реализация системы, включающая в себя датчик движения и освещенности с использованием микроконтроллера. Ожидается снижения электропотребления на 65–70%. Особенностью данной системы является ее автономность, низкая стоимость и простота в управлении относительно других систем.

Таким образом, интеллектуальная система освещения способствует минимизации расходов электроэнергии, а так же позволяет наиболее оперативно оповещать о неисправности того или иного её узла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Интеллектуальное освещение – привыкаем к этому термину. Плюс ремарка от Redwood: освещение должно быть удобным, экономичным и безопасным [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://habrahabr.ru/company/comptek/blog/266469/> (дата обращения: 15.02.2018).

2. Шуберт Ф.Е. Светодиоды // пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.

3. Интеллектуальное управление светом [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://interalighting.ru/blog/2521_intellektualnoe-osveshchenie/ (дата обращения: 17.02.2018).

4. Освещение склада, освещение мезонина, освещение промышленных помещений. Нормы освещенности складских помещений. Автоматизация освещения склада. Энергоэффективные пожаробезопасные светодиодные светильники для склада серии ЛПП 66 Титан. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://list-eng.ru/uslugi/osveshchenie-sklada-osveshchenie-mezonina-osveshchenie-promyshlennykh-pomeshcheniy-normy-osveshchenn/> (дата обращения: 15.02.2018).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОГРАММЫ ИСПЫТАНИЙ НА ИЗЛУЧАЮЩИЙ СВЕТОДИОД ИК ДИАПАЗОНА С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 905 НМ В МЕТАЛЛОПЛАСТМАССОВОМ КОРПУСЕ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА

Е.А. Малаева, студент магистратуры

*Научный руководитель Д. В. Манекин, нач.к цеха № 2, АО «НИИПП»
г. Томск, ТУСУР, katrina.malaeva@bk.ru*

Провести анализ проведения испытаний на излучающий светодиод ИК-диапазона с длиной волны 905 нм в металлопластмассовом корпусе поверхностного монтажа соответствующих заданным требованиям: сила излучения не менее 15 мВт/ср; постоянное напряжение : не более 1,6 В; номинальный ток 300 мА; $\lambda = 905$ нм; корпус поверхностного монтажа.

Измерения проводились на партии диодов в количестве 44 штук. На рис. 1 результаты на воздействие изменения температуры среды.

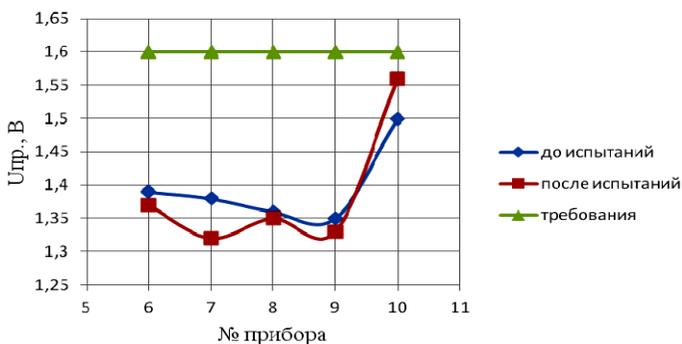


Рис. 1. Результат испытаний на воздействие изменения температуры среды

Постоянное напряжение: не более 1,6 В. На рис. 2 представлены результаты на воздействие механических ударов одиночного действия.

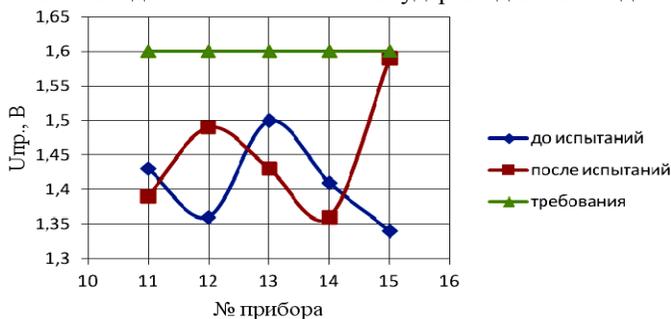


Рис. 2. Результат на воздействие механических ударов одиночного действия

Постоянное напряжение: не более 1,6 В.

На рис. 3 представлены результаты на вибропрочность кратковременные.

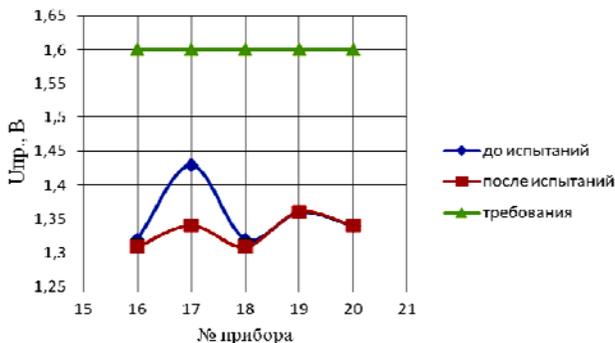


Рис. 3. Результат испытаний на воздействие изменения температуры среды

Постоянное напряжение: не более 1,6 В. На рис. 4 представлены результаты на воздействие повышенной температуры среды.

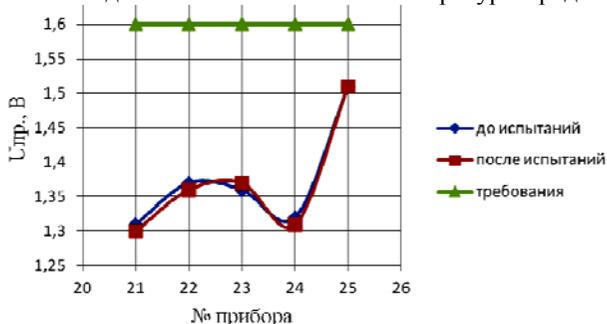


Рис. 4. Результат испытание на воздействие повышенной температуры среды

Постоянное напряжение: не более 1,6 В. На рис. 5 представлены результаты на воздействие пониженной температуры среды.

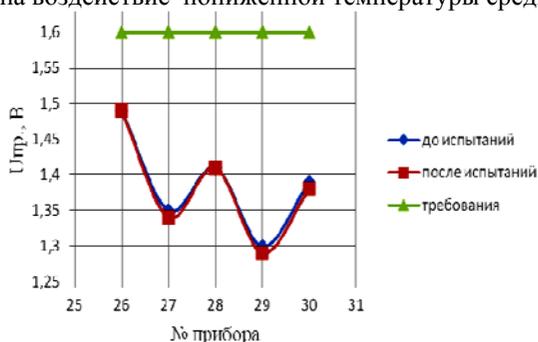


Рис.5. Результат испытание на воздействие пониженной температуры среды

Постоянное напряжение: не более 1,6 В. На рис. 6 представлены результаты на воздействие повышенной влажности воздуха.

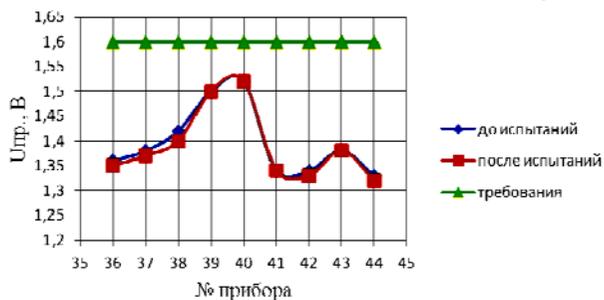


Рис.6. Результат испытание на воздействие повышенной влажности воздуха

Постоянное напряжение: не более 1,6 В. На рис. 7 зависимость спектров светодиодов ИК-диапазона.

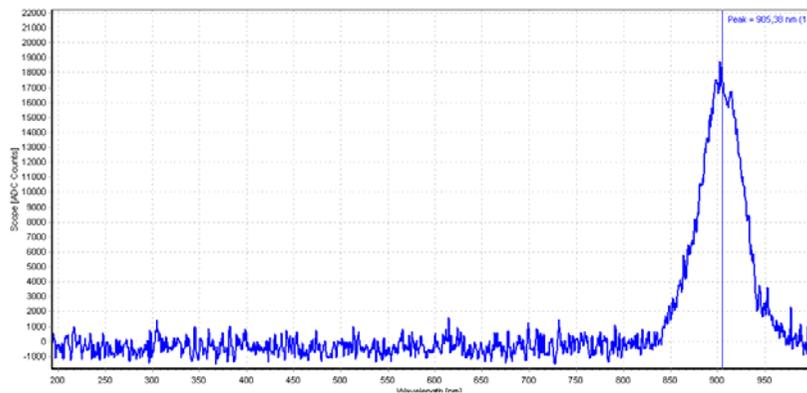


Рис. 7. Спектры светодиодов ИК-диапазона до испытаний

Длина волны для светодиодов ИК-диапазона до испытаний равна 905,38 нм.

На рис. 10 зависимость спектров светодиодов ИК-диапазона после испытаний при $U_{пр} = 1,4$ В; $I_{пр} = 300$ мА.

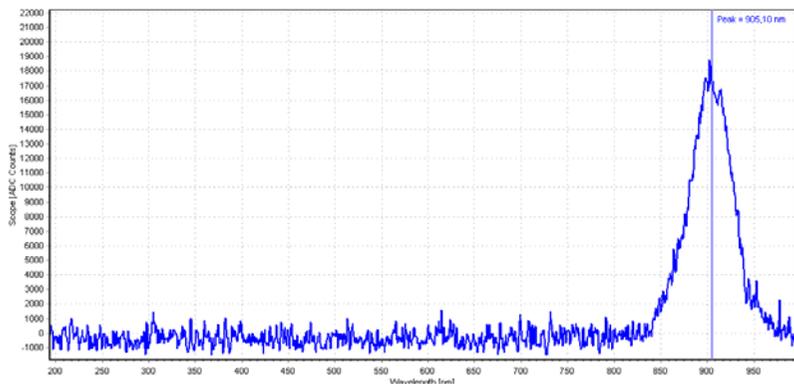


Рис.10. Спектры светодиодов ИК диапазона после испытаний

Длина волны для светодиодов ИК-диапазона после испытаний равна 905,10 нм.

Приборы до и после испытаний соответствуют заданным техническим требованиям. После испытаний сила излучения при прямом токе 300 мА и прямом напряжении 1,41 В минимум равна 17,6 мВт/ср,

максимум 22,4 мВт/ср, что больше требуемой силы излучения равной 15 мВт/ср. После испытаний сила излучения минимум равна 23,5 мВт/ср, максимум 27,9 мВт/ср, что больше требуемой силы излучения равной 15 мВт/ср.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шуберт Ф. Светодиоды / Пер. с англ. под ред. А. Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.

УСТРОЙСТВО ЛАЗЕРНОЙ РЕГИСТРАЦИИ ДВИЖЕНИЙ

С.И. Сизов, М.П. Нилов, студенты ИЯШ ТПУ

г. Томск, НИТПУ, trn2@tpu.ru

Наиболее эффективным методом охраны помещений, а также иных объектов является устройства удаленного контроля безопасности. Существует больше количество охранных устройств, которые в большинстве своем являются дорогостоящими [1–3].

Целью нашей работы является разработка удобного в управлении, переносного устройства, предназначенного для охраны объектов, которое было бы дешевле существующих на рынке аналогов.

Работа на начальном этапе заключалась в рассмотрении различных путей реализации устройства, а также в анализе рынка охранных систем, в результате чего был сделан вывод о высокой цене существующих аналогов. Следующим этапом работы стал выбор оптимального решения для данной задачи с последующей разработкой кода алгоритма управления устройством на языке Arduino. После чего была проведена сборка устройства, тестирование и динамическая отладка его работы. Основой устройства стала плата Arduino Uno, для связи с внешним миром (управления и оповещения) была использована плата расширения GPRS Shield [4].

Принцип работы устройства можно упрощенно описать следующим образом. Лазерный диод светит на фоторезистор, сопротивление которого изменяется при изменении интенсивности света. Когда такое изменение происходит в результате прерывания луча телом, устройство регистрирует это за счет изменения падения напряжения на фоторезисторе, которое измеряется при помощи делителя напряжения, представленного на **Ошибка!** **Источник ссылки не найден.** Исходя из величины аналогового сигнала устройство может сигнала

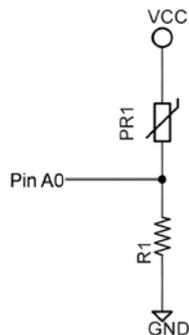


Рис. 1. Делитель напряжения

лизировать о нарушении лазерного контура. Устройство способно как принимать, так и отправлять СМС сообщения, которые являются средством управления и оповещения.

Разработанное устройство может быть использовано в охранной системе частных домов, охране гаражных и складских помещений, для создания светового охранного контура вокруг объектов на любой территории. Также существует ряд других альтернатив применения данного устройства: сбор информации о посещении различных общественных объектов, с целью дальнейшего её использования или использование в системах типа «умный дом».

ЛИТЕРАТУРА

1. Охранные системы и центры управления умным домом [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.dns-shop.ru/catalog/17aa4e6616404e77/oxrannyye-sistemy-i-centry-upravleniya-umnym-domom/>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 01.03.2018).
2. Магазин охранной сигнализации AJAX SYSTEMS [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ajax.rustore.systems/>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 01.03.2018).
3. «Дельта» – системы безопасности и охранная сигнализация в г. Москва [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.delta.ru/>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 01.03.2018).
4. GPRS Shield [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://amperka.ru/product/arduino-gprs-shield>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 01.03.2018).

ПРОБЛЕМА «СИНЕГО СВЕТА» В СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

И.А. Спиридонов, студент

*Научный руководитель В.И. Туев, зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, ivan.spiridonov.95@mail.ru*

Вот уже последний десяток лет мы можем наблюдать возрастающую тенденцию использования светодиодов в различных устройствах: телевизоры, компьютеры, телефоны, а также для уличного, промышленного и бытового освещения. LED достаточно быстро захватывают просторы рынка и отодвигают другие более устаревшие осветительные технологии на второй план, такие как лампы накаливания и компактные люминесцентные лампы. Почему же так происходит? Все просто, ведь LED обладают высокой энергоэффективностью.

Министерство энергетики США предоставило информацию по потреблению энергии светодиодами, LED потребляют энергии более

чем на 70% меньше и при этом их срок службы в 25 раз дольше, чем у лампы накаливания [1].

По оценкам, по сравнению с полным отсутствием светодиодов, при широком использовании светодиодов в США до 2027 г., в год можно было бы сэкономить количество энергии, эквивалентное электрической мощности 44 крупных электростанций, что дало бы общую экономию не менее 30 миллиардов долларов США, – сообщает Министерство энергетики [1]. Несмотря на наглядные плюсы светодиодов, мировая научная общественность уже долго спорит о вреде и пользе светодиодов на человека. Все дело в том, что LED излучают в синем и голубом спектре.

Некоторые исследователи считают, что сине-голубой диапазон негативно воздействует на зрение. В своей статье [2] А.М. Островский приводит пример воздействия на крыс света сине-голубого диапазона, при 3-часовом освещении и энергетической освещённости 0,64 Вт/м² в спектральной полосе 400–480 нм. Спустя сутки это приводило к массовой, хотя и частично обратимой, гибели фоторецепторных клеток сетчатки. С.С. Рамос [3] провела исследования воздействия LED-экранов на пигментированных крыс, у которых сетчатка максимально похожа на человеческую. За 3 месяца непрерывного прямого воздействия было обнаружено, что 23% световоспринимающих клеток погибло. Данные исследование нельзя считать абсолютно достоверными, так как сетчатки животных отличаются от человеческих и условия проведения экспериментов не приближены к реальным, так как большинство падающего на глаз света является отраженным, а не прямым.

А. Демкин в статье [4] высказывает мнение о том, что повреждение сетчатки реализуется за счет фотохимических механизмов. Синий свет вызывает накопление в клетках сетчатки пигмента липофусцина в виде гранул. И данные гранулы поглощают синий спектр светового излучения, в результате чего образуется много свободных кислородных радикалов, которые повреждают структуры клеток сетчатки. Хотя в статье [5] И.А. Лугина сказано, что точный механизм образования липофусцина не изучен и его количественное содержание увеличивается с возрастом, в особенности, в митотически неактивных клетках. По этой причине липофусцин называют «пигментом старения».

Существует доказанное влияние синего света, это его влияние на циркадные ритмы. Синий спектр оказывает воздействие на меланопсин – светочувствительный рецептор. Меланопсин обладает функцией регуляции циркадных ритмов и механизмов сна из-за его способности угнетать активность гормона мелатонина. На кривой (рис. 1) отражено влияние спектрального состава излучения на уменьшение сек-

реции мелатонина. Данная кривая имеет пик на длине волны 464 нм. На рисунке точками обозначены результаты исследования концентрации мелатонина при воздействии излучения на восьми длинах волн (440, 460, 480, 505, 530, 555, 575 и 600 нм). Исследования проводились с участием 72 здоровых людей. [6].

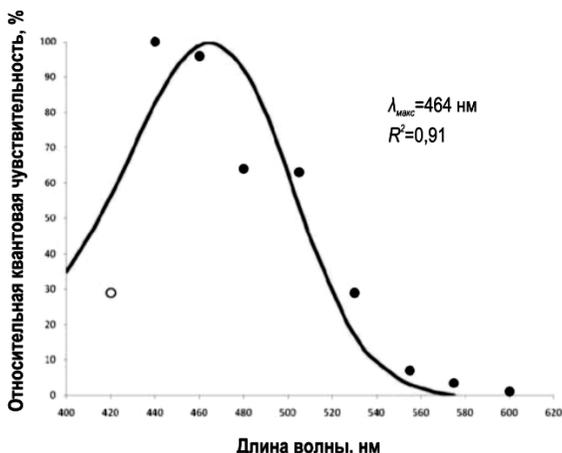


Рис.1 Относительный спектр действия для подавления секреции мелатонина

Лишь определенная часть диапазона синего света отвечает за регуляцию «внутренних часов». В моде была теория замены утреннего кофе пребывание в помещении с синими лампами. Действительно, результаты многих экспериментов демонстрируют, что синий свет помогает проснуться, улучшает внимание и активизирует мыслительный процесс, влияя на психомоторные функции.

В статье [8] С. Мартина Бэйвена описывается добровольный эксперимент проводимый над двадцатью одним здоровым человеком. Испытуемые выполняли компьютерные тесты психомоторной бдительности до и после каждого из четырех случайных назначенных пробных состояний, выполняемых в разные дни:

- 1) белый свет и плацебо;
- 2) белый свет и 240 мг кофеина;
- 3) синий свет и плацебо;
- 4) синий свет и 240 мг кофеина.

И только кофеин, и синий свет улучшили точность в визуальном испытании реакции, и наблюдался аддитивный эффект.

Хоть и воздействие на организм человека высокотехнологичных источников света до конца не изучено. Но уже сейчас можно сказать исходя из различных исследований, что светодиоды особенно белого

света (синий кристалл и желтый люминофор) влияют на циркадные ритмы и механизмы сна.

Так как синий свет влияет на биологические часы, то нужно создавать «умные» автоматизированные лампы с изменяющейся цветовой температурой в зависимости от времени суток. Ведь спектр светодиодных источников освещения смещается от красной части к синей при увеличении цветовой температуры [8]. И с помощью данных ламп оптимально контролировать свои биологические часы.

ЛИТЕРАТУРА

1. U.S. Department of Energy, LED Lighting [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energy.gov/energysaver/led-lighting> (дата обращения: 22.12.2017).
2. Зак П.П., Островский М.А. Потенциальная опасность освещения светодиодами для глаз детей и подростков // Светотехника. – 2012. – №3. – С. 4–6.
3. Светодиодное излучение повреждает сетчатку: опасность LED-дисплеев для зрения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://medbe.ru/interview/drugie-intervyu/svetodiodnoe-izluchenie-povrezhdaet-setchatku-opasnost-led-displeev-dlya-zreniya/> (дата обращения: 15.12.2017).
4. Современные высокотехнологичные источники света и здоровье человека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dom.dacha-dom.ru/vred-svetodiodnich-lamp.html> (дата обращения: 18.02.2018).
5. Лугин И.А. Современные представления о липофусцине как о биомаркере старения // Синергия наук. – 2017. – Т. 1, №18. – С. 1147–1156.
6. Бижак Г., Кобав М.Б. Спектры излучения светодиодов и спектр действия для подавления секреции мелатонина // Светотехника. – 2012. – № 3. – С. 11–16.
7. Comparison of Blue Light and Caffeine Effects on Cognitive Function and Alertness in Humans [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0076707> (дата обращения: 20.02.2018).
8. Цветовая температура [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://photohandle.com/cvetovaja-temperatura/> (дата обращения: 20.02.2018).

ТЕПЛОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СВЕТОДИОДОВ БЕЛОГО ЦВЕТА СВЕЧЕНИЯ

*М.В. Андреева, Е.С. Ганская, Г.А. Косачева, студентки;
К.В. Тепляков, аспирант НИТПУ*

*Научный руководитель В.С. Солдаткин, к.т.н., доцент каф. РЭТЭМ
г. Томск, ТУСУР, soldatkinvs@main.tusur.ru*

В настоящее время светодиоды получили широкое применение в светотехнических устройствах различного назначения: бытового, офисного, уличного и т.д. Востребованность светодиодов в светотех-

нике связана с их высокой надёжностью и энергоэффективностью. Миниатюрность светодиода позволяет конструировать светотехнические устройства различной сложности. На ряду с существенными преимуществами светодиодного освещения перед всеми существующими искусственными источниками света, существует основной недостаток, это необходимость обеспечения отвода тепла от активной области светодиода. Особенно отвод тепла актуален для мощных светодиодов.

Цель работы: исследование теплового сопротивления для определения мощного белого светодиода.

Мощный светодиод белого цвета свечения состоит из корпуса, на который с помощью теплопроводящего клея смонтирован светодиодный кристалл. Омические контакты кристалла соединены золотой проволокой с контактными площадками корпуса. На кристалл нанесена люминофорная композиция. Кристалл, проволока и люминофорная композиция герметично закрыты линзой, которая защищает от влаги и механических повреждений, а также предназначена для формирования кривой силы света излучаемой светодиодом (рис. 1). Светодиод имеет площадь 5×5 мм, а высоту с линзой 3 мм [1].

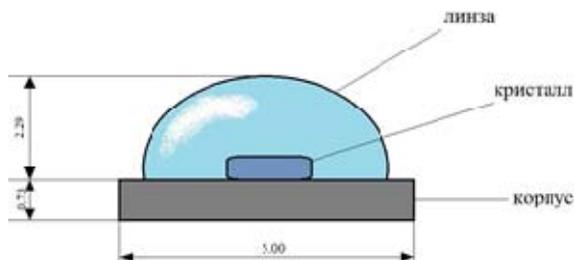


Рис. 1. Схематическое изображение мощного светодиода белого цвета свечения

Кристалл светодиода имеет размеры примерно $1000 \times 1000 \times 90$ мкм³, из которых примерно 85 мкм толщины занимает подложка из карбида кремния и примерно 5 мкм полупроводниковая структура GaN/InGaN с множественными квантовыми ямами. Полупроводниковая структура состоит как правило из слоя р-типа (GaN ~ 0,2 мкм), слоя *p*-типа (AlGaIn ~ 0,03 мкм), активной области (InGaIn/GaN ~ 0,2 мкм), *n*-типа (GaN ~ 2,5 мкм), *u*-типа (GaN ~ 2 мкм) [2].

Проведены измерения значений прямого напряжения от прямого тока и построена вольт-амперная характеристика (рис. 2, а), а также были измерены значения светового потока от прямого тока и построена люмен-амперная зависимость мощного светодиода белого цвета свечения (рис. 2, б).

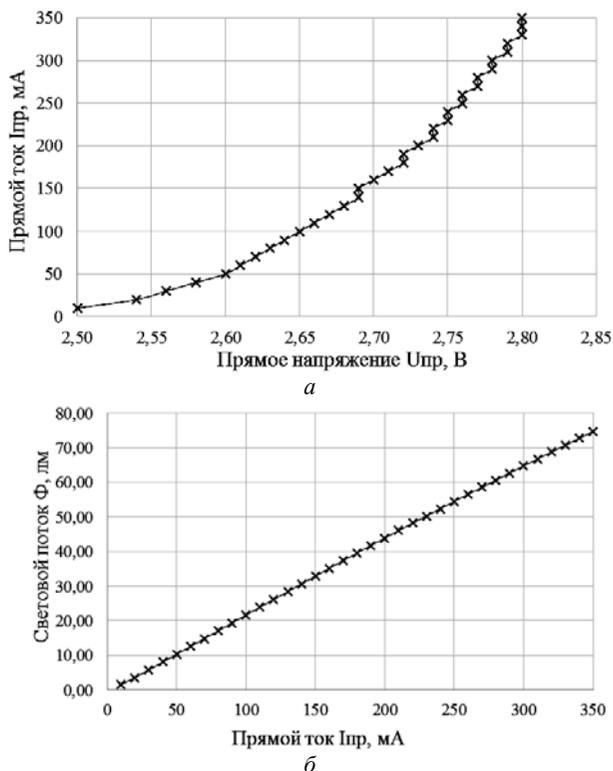


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика (а) и люмен-амперная зависимость (б) мощного светодиода белого цвета свечения

По результатам измеренных значений прямого тока, прямого напряжения и светового потока рассчитаны значения световой отдачи и построена зависимость световой отдачи от прямого тока (рис. 3, а), далее были измерены значения коррелированной цветовой температуры от прямого тока и построена зависимость коррелированной цветовой температуры от прямого тока (рис. 3, б) мощного светодиода белого цвета свечения [3].

Далее были проведены измерения теплового сопротивления светодиода. Измерения проводились на установке для измерения теплового сопротивления полупроводниковых источников света (УТС) [4].

В результате проделанной работы было выявлено, что в качестве подложки для мощного светодиода белого цвета свечения лучше всего подходит текстолит.

Работа выполнена в рамках проекта ГПО-1501.

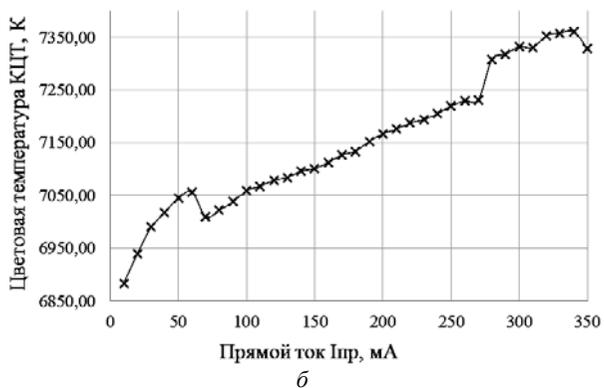
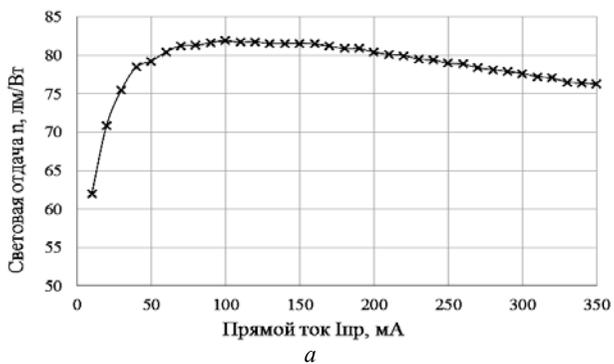


Рис. 3. Зависимость световой отдачи от прямого тока (*a*) и зависимость коррелированной цветовой температуры от прямого тока мощного светодиода белого цвета свечения (*б*)



Рис. 4. Установка для измерения теплового сопротивления полупроводниковых источников света

Результаты измерений приведены в таблице.

№	Материал подложки	Максимальный ток, I_{\max} , мА	Тепловое сопротивление, R_{τ} , град/Вт
1	Текстолит	350	25,6
2	Алюминий	350	15,02

ЛИТЕРАТУРА

1. Шуберт Ф. Светодиоды / Пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
2. Светодиоды Cree [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cree.com/> (дата обращения: 12.03.18).
3. Электронные средства и системы управления: материалы докладов XIII Международной научно-практической конференции (29 ноября – 1 декабря 2017 г.): в 2 ч. – Ч. 1. – Томск: В-Спектр, 2017. – 304 с.
4. Установка для измерения теплового сопротивления полупроводниковых источников света. Руководство по эксплуатации – Томск, 2017. – 12с.

СПЕКТР И МОЩНОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ И ТРЕУГОЛЬНОЙ КВАНТОВОЙ ЯМЫ

О.Ф. Задорожный, студент

*Научный руководитель В.Н. Давыдов, преп. каф. ЭП, д.ф.-м.н., проф.
г. Томск, ТУСУР, каф. ЭП, Oleg9300@mail.ru*

При разработке светодиодных источников излучения с квантовыми ямами (КЯ) особое внимание уделяется геометрии КЯ как элементов, определяющих спектр излучения будущего источника излучения. Изменение спектра излучения достигается управлением энергетического спектра размерного квантования электронов выбором профилей и размеров КЯ. По соображениям технологической простоты изготовления из трех возможных профилей КЯ: прямоугольной, треугольной и параболической практический интерес представляет исследование первых двух профилей,

Важным параметром светоизлучающих приборов является мощность излучения, зависящая от числа электронов, заполняющих электронные состояния КЯ. Количество уровней энергии электронов в КЯ напрямую определяет мощность излучения. Следовательно, выбором формы КЯ и ее толщины, можно задать как спектр так мощность излучения источника света,

В данной работе рассчитаны энергии уровней размерного квантования и число электронов в КЯ, изготавливаемых на основе барьера

InGaN/GaN прямоугольной и треугольной формы и имеющих разную толщину.

Расчет энергий уровней размерного квантования

Прямоугольная КЯ. Расчет n -того уровня энергии E_n размерного квантования в прямоугольной КЯ производился по формуле [1]:

$$E_n = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2m_e^* a^2} n^2. \quad (1)$$

Здесь обозначено: m_e^* – эффективная масса электрона, a – толщина КЯ в направлении ее роста, n – номер уровня, отсчитываемый от дна ямы. Используя выражение (1) и значения параметров барьера InGaN/GaN: $m_e^* = 0,19 m_0$, глубина КЯ $\Delta E_c = 0,60$ эВ составлены энергетические диаграммы для n-КЯ для толщин $a = 4$ нм и $a = 12$ нм, показанные на рис. 1, а, б, соответственно. Как следует из представленного рисунка, для этого профиля КЯ, во-первых, с ростом номера состояния энергетическое расстояние между соседними уровнями увеличивается по квадратичному закону. Во-вторых, для заданной глубины КЯ с увеличением ее толщины число уровней размерного квантования увеличивается сверх линейно.

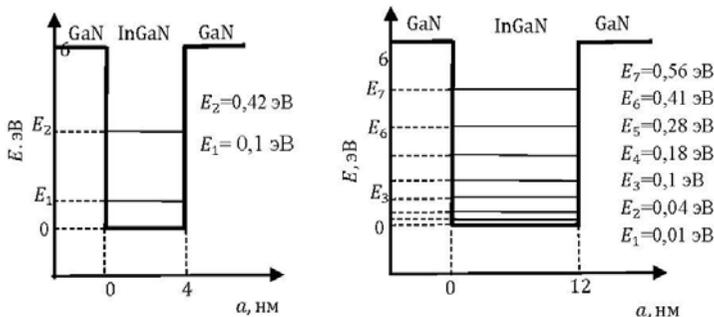


Рис. 1. Зонная диаграмма ПКЯ

Количество электронов в прямоугольной КЯ будет равно:

$$N_{\text{пкя}}(\Delta E_c) = 2aS \sum_{k=1}^m [n_{2d}(E_k) \cdot f_n(E_k)], \quad (2)$$

где S – площадь КЯ, n_{2d} – плотность электронных состояний в КЯ, f_n – функция Ферми, описывающая заполнение уровня размерного квантования E_k , $m = \Delta E_c / \Delta E_k$ – число уровней размерного квантования в КЯ, ΔE_k – зазор между соседними уровнями. Множитель «2» учитывает спиновое вырождение, определяемое принципом Паули.

Как следует из (2), для увеличения мощности излучения размер КЯ следует брать предельно большим, но меньшим длины волны де Бройля. Однако требование на спектральный состав генерируемого излучения, а также растущее разделение зарядовых пакетов в n -КЯ и p -КЯ полем спонтанной поляризации границ «КЯ–барьер» ограничат толщину КЯ. Сужение спектра оптического излучения можно добиться добавлением в состав вещества КЯ вещества с высокими люминесцентными свойствами (например, CdSe) или редкоземельных элементов (эрбий и другие [2]).

Треугольная КЯ. Расчет энергии уровней размерного квантования в КЯ данного профиля проводился по выражению [1]

$$E_n = \frac{3}{2} \pi \left[\left(n - \frac{1}{4} \right) \cdot \left(\frac{qF^2 \hbar^2}{2m_e^*} \right) \right]^{2/3}. \quad (3)$$

Здесь F – величина электрического поля внутри КЯ, q – заряд электрона. Остальные обозначения общеприняты. Результаты расчета спектра энергий гетероструктуры на основе барьера InGaN/GaN для толщин ямы $a = 4$ нм и $a = 12$ нм показаны на рис. 2, *а* и *б*. Из них следует, что в отличие от спектра прямоугольной КЯ треугольная яма:

- имеет спектр, в котором расстояние между соседними уровнями уменьшается с ростом номера состояния;
- это расстояние больше чем в аналогичной яме прямоугольного профиля;
- энергия первого уровня размерного квантования в треугольной КЯ в несколько раз больше, чем в прямоугольной;
- количество уровней в яме треугольного профиля меньше, чем в прямоугольной. Тем самым, спектр треугольной КЯ оказывается более «рыхлым».

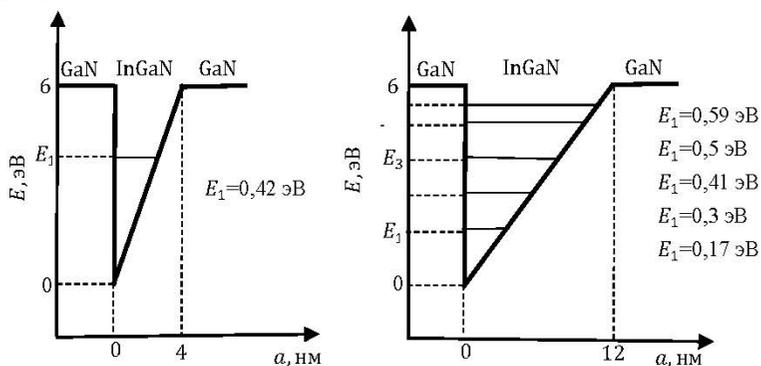


Рис. 2. Зонная диаграмма ТКЯ

Количество электронов, помещающихся в треугольной КЯ оказывается в два раза меньше, чем в прямоугольной, из-за уменьшения объема КЯ:

$$N_{\text{пкя}}(\Delta E_c) = aS \sum_{k=1}^m [n_{2d}(E_k) \cdot f_n(E_k)].$$

Выводы. На основании выполненного расчета можно утверждать, что для изготовления источника оптического излучения высокой мощности на основе гетероструктур с множественными квантовыми ямами необходимо использовать прямоугольные квантовые ямы максимальной допустимой толщины, а также выбирать вещества КЯ и барьера, дающие ямы большой глубины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мартинес-Дуарт Д.М. Мир материалов и технологий // Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники. – 2007. – 368 с.
4. Шуберт Ф. Светодиоды. – М.: – Физматлит. – 2008.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АВТОНОМНОГО СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

В.О. Бондаренко, студент

*Научный руководитель А.Ю. Олисовец, инж. каф. РЭТЭМ
г. Томск, ТУСУР, каф. КИИР, vip.sva1996@mail.ru*

В настоящий момент достаточно активно применяются автономные источники освещения, например, для освещения улиц и подсветки дорожного полотна [1–4].

Как правило, это фонарный столб, на котором размещается солнечная панель и небольшой ветрогенератор (рис. 1).

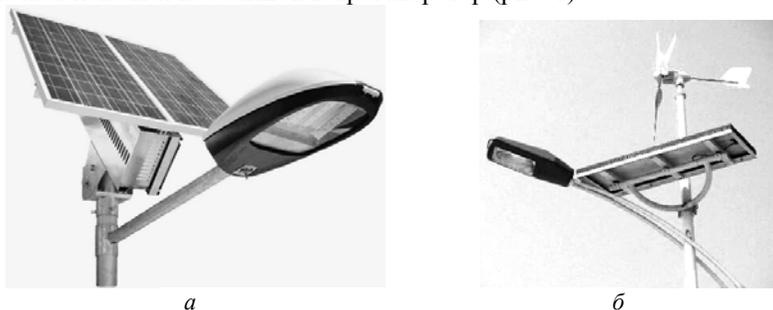


Рис. 1. Автономные источники освещения, применяемые на данный момент, их конструктивное исполнение: только солнечная панель без использования ветрогенератора – а; с использованием солнечной панели и ветрогенератора – б

Но все готовые решения, которые предлагаются в настоящий момент на рынке осветительных приборов, нуждаются в постоянном наблюдении и контроле. А это, в свою очередь, необходимость затрат времени и финансовых ресурсов.

Реализация интеллектуального автономного светодиодного освещения (ИАСО) исключает вышеперечисленные недостатки уже готовых автономных источников освещения и способно обеспечить высокую эффективность с меньшими финансовыми затратами.

Целью настоящей работы является разработка решения интеллектуального автономного светодиодного освещения, имеющего повышенную экономию и эффективность в сравнении с предлагаемыми в настоящий момент готовыми устройствами.

Задачу экономии предлагается решать за счет сокращения материальных ресурсов. Предлагается использование автономных источники питания, датчиков движения и освещения, управляемых с помощью микроконтроллера.

Например, если во время работы ИАСО вышел из строя один фонарный столб, то система незамедлительно в автоматическом режиме отправит уведомление оператору, которое придёт в виде сообщения на устройство контроля.

В качестве автономных источников питания предлагается использовать ветрогенератор и солнечную панель.

Солнечная панель и ветрогенератор должны работать поочередно. Например, в пасмурное и темное время суток может активно работать ветрогенератор, а солнечная панель – в дневное время суток при достаточной эффективности солнца.

Для того чтобы увеличить эффективность ИАСО, предлагается автоматизированная система, которая будет отслеживать расположение солнца. В зависимости от расположения, солнечная панель будет разворачиваться к точке максимального освещения, что позволит увеличить её эффективность.

Следующим шагом увеличения эффективности является использование датчиков движения и освещения.

Датчики движения и освещения будут активировать систему автоматически.

Например, при наступлении тёмного времени суток, при помощи датчика освещенности, система ИАСО сможет перейти в режим, при котором светодиодные лампы будут работать на 10%.

Если же на дороге начинается движение, то срабатывает датчик движения и заранее проинформирует систему о том, что произошло движение и светодиодные панели активируются на 100%.

Важно заметить, что светодиодные панели начнут работать на 100% до того момента, пока автомобиль подъедет к месту освещения. Таким образом, будет уменьшаться электропотребление всей системы в целом.

Систему ИАСО возможно использовать как для одиночного решения (один фонарный столб), так и для системы, состоящей из неограниченного количества фонарных столбов. Она может эксплуатироваться в труднодоступных отдаленных регионах, на серпантинах и в тех местах, в которых имеются определенные трудности, связанные с подведением электропитания к уличным осветительным приборам.

Таким образом, предлагаемое решение позволит обеспечить повышенную экономию финансовых ресурсов и эффективность в сравнении с предлагаемыми в настоящий момент готовыми устройствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зотин О.А. «Умный» свет в «умном» городе // Полупроводниковая светотехника. – 2017. – №5. – С. 68–74.
2. Херциг М., Технологические проблемы в области профессионального освещения туннелей / Пер.с англ. под ред. В.А. Рочева. Полупроводниковая светотехника. – 2017. – №5. – С. 76–77.
3. Полупроводниковая светотехника [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://led-e.ru/index.php/> (дата обращения: 10.02.2018).
4. Адаптивное освещение. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://c2smartlight.com/front-page-ru/> (дата обращения: 10.02.2018).

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

*А.В. Овсянникова, инж. по качеству, ООО «Руслед», магистрант
Научный руководитель В.С. Солдаткин, к.т.н., доцент каф. РЭТЭМ;
Л.А. Малофеева, директор по качеству ООО «ТЗС»
г. Томск, ТУСУР, ovsjannikova_nastena@mail.ru
soldatkinvs@main.tusur.ru;
НИТПУ, ИШНКБ, malofeevala@svet21veka.ru*

Наука не стоит на месте и постоянно движется вперед, решая важные задачи. В настоящее время во всем мире особняком стоит вопрос экологии.

Экологичность – бесспорно важная составляющая *производства и потребления* светодиодных ламп со светодиодными излучающими элементами. И новое поколение светодиодного освещения предполагает существенное повышение экологической безопасности. Одна из проблем экологии – это выработка и потребление большого количества

ва электроэнергии, что влечёт за собой выбросы углекислого газа и ряд климатических изменений.

При том же световом потоке, что и у люминесцентных ламп, светодиодные потребляют в 5 раз меньше электроэнергии, в сравнении с лампами накаливания – меньше в 10 раз, и как следствие, снижение расхода топлива на выработку электроэнергии и экономия энергоресурсов в стране.

Целью данной работы является оценка экологической обстановки на производстве светодиодных ламп в ООО «Руслед».

На предприятии ООО «Руслед» производство светодиодных ламп производится по технологическому процессу сборки светодиодных (СД) ламп, который содержит 12 основных операций:

1. Штамповка ножек.
2. Вставление платинитовых держателей на монтажном автомате.
3. Формовка держателей (скоб) вручную.
4. Сборка ножек светодиодных ламп приваркой.
- 5. Заварка и откачка ламп.**
6. Проверка на зажигание и по внешнему виду ламп отпаянных.
7. Припайка источника питания к лампе отпаянной и проверка на зажигание.
8. Намазка цоколей.
- 9. Цоколевание ламп.**
10. Припайка токовых вводов вручную.
11. Браковка ламп.
12. Упаковка ламп и наклеивание этикеток.

Из данных 12 операций выделяются 2 операции, в которых на точных линиях присутствуют автоматы с газовыми горелками.

Специалисты аккредитованной испытательной лаборатории проводили испытания [1] и измеряли химические факторы на данных 2 операциях. Фактические и нормативные значения измеряемых параметров приведены в таблице.

Фактические и нормативные значения измеряемых параметров

Наименование вещества (рабочая зона)	Фактическое значение	Нормативное значение [2]
Операция «Заварка и откачка ламп»		
Углерод оксид, мг/м ³	4	20
Операция «Цоколевание ламп»		
Углерод оксид, мг/м ³	5,9	20
Свинец и его неорганические соединения (по свинцу), мг/м ³	0,02	0,05
Гидроксibenзол, мг/м ³	0,2	1,0
Формальдегид, мг/м ³	0,3	0,5

В заключение данных испытаний сказано, что фактический уровень вредного фактора соответствует гигиеническим нормативам.

Производство. Изготовление светодиодных ламп – это практически безотходное производство. Образование стеклоотходов на операциях сборки светодиодных ламп обусловлено способом соединения внутренних стеклотеталей с колбой, и после отделения чистых отходов в виде «юбки» колбы и штенгельного конца – эти чистые стеклотходы собираются и повторно отправляются на стекловарение.

Колбы, применяемые для светодиодных ламп, изготавливаются из стекла типа СЛ-96 – безсвинцовое, без примесей, т.о. экологически чистое.

На томском предприятии «Rusled» в 2016 г. для производства стеклянных комплектующих ламп на светодиодных нитях был реализован новый производственный проект. В рамках данного проекта реализована и успешно функционирует современная, экономичная стекловаренная печь прямого нагрева с автоматическим управлением процесса варки стекла. Это позволяет варить качественную стекломассу, не содержащую вредных элементов, в отличие от импортных комплектующих, содержащих такие химические элементы как свинец. Автоматизация процесса варки позволяет сделать сам процесс более экологичным и абсолютно нетоксичным за счет оптимизации всех параметров стекловаренной печи. В свою очередь, приведение процесса сжигания к оптимальным режимам полного сжигания газа сводит к нулю все вредные выбросы в атмосферу, таких как оксид углерода, азота и пр.

Производство стеклянных колб для светодиодных ламп производится на карусельном автомате с капельным питанием типа «Р-25», специально приобретенным под данный проект [3].

Автомат оснащен системой сбора и утилизации масла, используемого в системе смазки этого оборудования, что позволяет повторно использовать его в дальнейшей работе и снизить до минимума его потребление и сбросы в окружающую среду. А использование оборотного водоснабжения в производстве стеклянных колб, снижает расход питьевой воды и делает колбовыдувной автомат «Р-25» практически автономным и более экономичным по сравнению со своими аналогами (например «Айвенго»).

Эксплуатация. Тот факт, что при одинаковом световом потоке светодиодные осветители потребляют всего 6 Вт электроэнергии против 60 Вт у ламп накаливания, уже дает экономию сжигаемого ископаемого топлива до 10 раз.

Преимущества светодиодов в повседневной эксплуатации перед классическими лампами накаливания, галогенными и люминесцент-

ными неоспоримы: несравнимо больший срок службы, меньшее энергопотребление, отсутствие токсичных материалов и как следствие, простая их утилизация.

С точки зрения охраны окружающей среды эти факторы тоже играют значимую роль и позволяют экологам говорить о предпочтительности их перед другими источниками освещения.

Окружающая среда и утилизация. Ни лампы накаливания, ни светодиодные лампы не требуют специальных мер по утилизации. В отличие от люминесцентных. В состав люминофорных ламп дневного света входит ртуть: крайне токсичное, трудно утилизируемое вещество. Ко всему прочему имеющее чрезвычайно неприятную особенность: она не выводится из организма, аккумулируется в нем и со временем ее вредные эффекты усиливаются, вплоть до тяжелых форм отравления.

Одно из важнейших преимуществ светодиодных ламп при производстве и эксплуатации – отсутствие ртути, что исключает проблему их утилизации.

Заключение. Отсутствие токсичных материалов в светодиодных лампах и, как следствие, простая их утилизация. С точки зрения охраны окружающей среды эти факторы тоже играют значимую роль и позволяют экологам говорить о предпочтительности их перед другими источниками освещения.

Большой срок службы и высокая энергоэффективность светодиодных источников света позволит снизить в 10-ки раз количество выпускаемых ламп, тем самым сберечь энергоресурсы, снизить производственные издержки и, как следствие, это приведёт к снижению загрязнения окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12.1.014–84. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Воздух рабочей зоны. Метод измерения концентраций вредных веществ индикаторными трубками (с изм. № 1) [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – <http://docs.cntd.ru/document/5200317>

2. ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны [Электронный ресурс]. – Режим доступа – <http://docs.cntd.ru/document/901862250>

3. Производство выдувных изделий [Электронный ресурс]. – Режим доступа. – <http://www.stroitelstvo-new.ru/steklo/stekلودuv/mechanization-6.shtml>

ОБЗОР УСТРОЙСТВ, ВЫПОЛНЕННЫХ ПО ТЕХНОЛОГИИ LTCC

*Р.Д. Абулев, студент; А.В. Носов, аспирант каф. ТУ
Научный руководитель Р.С. Суровцев, доцент каф. ТУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, abulev.renat@gmail.com*

На сегодняшний день, одной из актуальных задач развития науки и техники является защита радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) от различных электромагнитных воздействий (ЭМВ), а в особенности от сверхкоротких импульсов (СКИ), которые способны проникать внутрь РЭА и выводить её чувствительные цепи из строя. Так, существующие устройства защиты зачастую неспособны обеспечить должной защиты РЭА от СКИ в силу своего недостаточного быстродействия, малой мощности и паразитных параметров [1]. Поэтому необходим поиск эффективных устройств защиты РЭА от СКИ. В связи с этим предложен простой подход, основанный на разложении СКИ в витке меандровой линии задержки за счет модальных искажений, вызванных различием погонных задержек мод сигнала [2]. Так для защиты РЭА могут быть использованы уже имеющиеся на печатной плате линии задержки. Между тем, предлагаемые защитные линии имеют достаточно большие размеры, что зачастую неприемлемо для их использования в современной РЭА.

Для решения проблемы миниатюризации устройств может быть использована технология низкотемпературной совместно обжигаемой керамики (LTCC), которая применяется для реализации различных радиотехнических компонентов и устройств. Одним из основных преимуществ технологии является большое значение диэлектрической проницаемости керамических подложек, что позволяет обеспечить высокое значение разности погонных задержек с возможностью более гибкого выбора других параметров линии. Еще одним преимуществом является возможность реализации меандровой линии большой протяженности в компактных размерах. Также отметим ряд других, не менее важных, особенностей устройств на основе данной технологии: герметичность от влаги, устойчивость к нагреву при сильных индукционных токах, неизменность геометрии при резких перепадах температуры. Однако, перед исследованием возможности реализации защитных линий задержки по данной технологии, необходимо выполнить обзор исследований близких устройств и выявить наиболее значимые особенности их проектирования по LTCC-технологии. Поэтому цель данной работы заключается в обзоре работ, направленных на проектирование устройств по технологии LTCC.

Примечателен подход к проектированию дифференциальных линий задержки [3]. В данном исследовании выполнено сравнение ряда конструкций линий задержки с точки зрения обеспечиваемой ею величины задержки и её размеров. Рассмотрены связанная линия задержки с боковой связью, витая линия, дифференциальная меандровая линия и предлагаемая трехмерная структура дифференциальной линии, выполненная по ЛТСС-технологии (рис. 1). Главной особенностью предлагаемой структуры является высокая величина погонной задержки в компактных размерах, по сравнению с другими конструкциям. В результате моделирования и эксперимента показано увеличение погонной задержки до 6 раз, тогда как искажения, затухания и потери имеют допустимые значения. Показано, что ЛТСС-технология надежна и позволяет реализовать высокопроизводительные схемы в малых размерах.

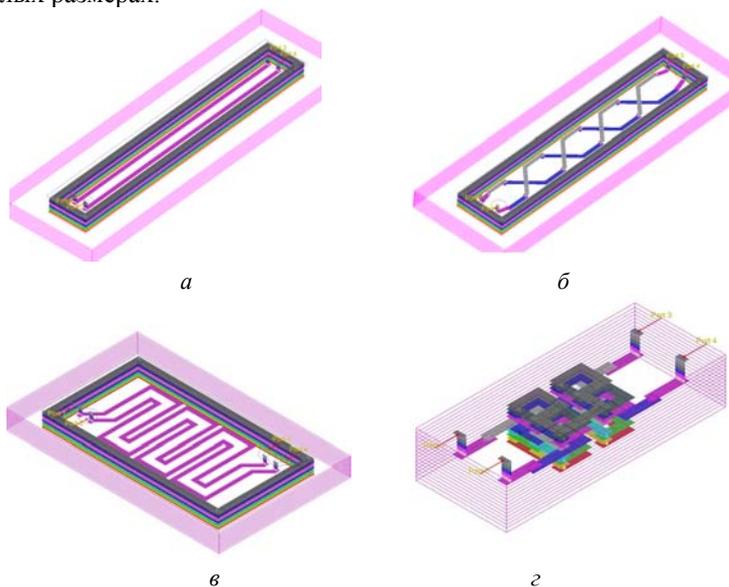
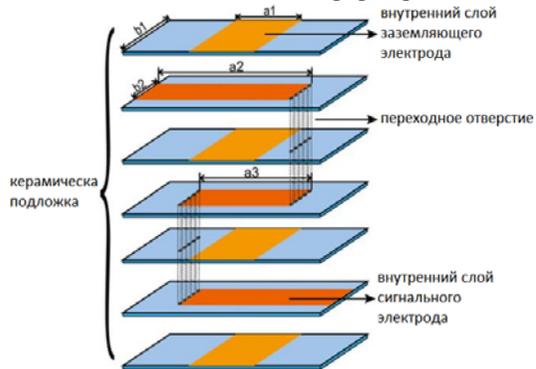


Рис. 8. Дифференциальная линия задержки с боковой связью (а), плетеная линия задержки (б), дифференциальная меандровая линия задержки (в), трехмерная дифференциальная линия задержки (г)

Известен ЕМI-фильтр (фильтр электромагнитных помех) на основе сложной конструкции проходного многослойного керамического конденсатора (МКК) с увеличенным подавлением в полосе заграждения (рис. 2) [4]. Внутренние опорные и сигнальные слои поочередно распределены на многослойной ЛТСС-подложке. Верхний и

нижний сигнальные слои структуры соединены с выводами, а остальные – соединены между собой для формирования сложной структуры. Паразитные эффекты на внутренних сигнальных слоях, включая эквивалентную параллельную емкость и последовательную индуктивность, использованы для формирования настраиваемого нуля ко-



эффициента передачи в полосе заграждения путем складывания МКК. За счет использования LTCC-технологии фильтр имеет компактные размеры.

Рис. 2. Структура предложенного ЕМИ фильтра

Как видно из приведенных работ, реализация устройств на основе LTCC-технологии позволяет добиться не только компактных размеров устройств, но и зачастую улучшить их характеристики. Дальнейшим этапом данных исследований является исследование возможности реализации защитных линий задержки на основе данной технологии.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации №14.256.18.356-МД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gizatullin Z.M. Investigation of the Immunity of Computer Equipment to the Power-Line electromagnetic Interference / Z.M. Gizatullin, R.M. Gizatullin // Journal of Communications Technology and Electronics, Vol. 61. – No. 5. – P. 546–550.
2. Surovtsev R.S. Possibility of Protection Against UWB Pulses Based on a Turn of a Meander Microstrip Line / R.S. Surovtsev, A.V. Nosov, A.M. Zabolotsky, T.R. Gazizov // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 59. – No. 6. – pp. 1864–1871.
3. Colom P.B. Design of differential delay lines in low temperature cofired ceramics / P.B. Colom, F. Ramos, J.S. Córdoba // Ph.D. Research in Microelectronics and Electronics (PRIME), 2016 12th Conference on. – Lisbon, Portugal, 27–30 June, 2016. – P. 4.
4. Folded feedthrough multilayer ceramic capacitor EMI filter / X.C. Wang, Y.Y. Sun, J.H. Zhu, Y.H. Lou, W.-Z. Lu // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – June 2017. – Vol. 59, No. 3. – P. 996–999.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1

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.*

М.А. Канина

КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
РИТМИЧЕСКОЙ ВИЗУАЛЬНОЙ СТИМУЛЯЦИИ
СЕНСОМОТОРНЫХ РЕАКЦИЙ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА 13

П.С. Матророва, К.С. Суханова

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА
И КРИТИЧЕСКАЯ ЧАСТОТА СВЕТОВЫХ МЕЛЬКАНИЙ 15

ПОДСЕКЦИЯ 2.2

РАЗРАБОТКА КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

*Председатель – Лоцилов А.Г., зав. каф. КУДР,
начальник СКБ «Смена», к.т.н.
зам. председателя – Убайчин А.В., с.н.с. СКБ «Смена», к.т.н.*

А.К. Пащенко, С.А. Холодных

ИЗМЕРЕНИЕ И АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ
ПЧЕЛИНЫХ УЛЬЕВ 19

К.С. Колесов

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ДАННЫХ В ЗАДАЧЕ ДИАГНОСТИКИ ДЕФЕКТНОСТИ
ИЗДЕЛИЙ ИЗ БЕТОНА 21

А.К. Пащенко

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ПЧЕЛИНОГО УЛЬЯ 24

П.П. Легкодымов, А.А. Сидоров

ПАТЕНТНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОИСК АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
СИСТЕМ СБОРА ДАННЫХ В СРАВНЕНИИ С КОНТРОЛЛЕРОМ
«ЭЛСИМА» ДЛЯ МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА 27

<i>Н. С. Труфанова, А. С. Труфанова</i>	
РАЗРАБОТКА МАКЕТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛЕНОК, НАНЕСЕННЫХ МЕТОДОМ ПРИНТЕРНОЙ ПЕЧАТИ.....	29
<i>Е.С. Семенов, В.С. Поздняков</i>	
ОБЗОР МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА	32
<i>А.Д. Другова, М.В. Ратников</i>	
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКИХ УДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ЗАДАЧЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФЕКТНОСТИ БЕТОНА	37

ПОДСЕКЦИЯ 2.3

ФИЗИЧЕСКАЯ И ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

*Председатель – Троян П.Е., зав. каф. ФЭ, проректор по УР, д.т.н., проф.
зам. председателя – Смирнов С.В., проф. каф. ФЭ, д.т.н.*

<i>П.В. Алексеевский</i>	
ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА НА ПАРАМЕТРЫ ПЛАЗМЫ ВЕЛИЗИ ИЗОЛИРОВАННОГО КОЛЛЕКТОРА.....	41
<i>С.А. Алиев</i>	
ПРОБЛЕМЫ МЕТАЛЛИЗАЦИИ С СУБМИКРОННЫМИ РАЗМЕРАМИ.....	43
<i>Т.Ю. Сидорюк, Д.В. Билевич, А.А. Попов</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРПУСА СВЧ-ТРАНЗИСТОРА В ВИДЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СХЕМЫ.....	45

ПОДСЕКЦИЯ 2.4

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

*Председатель – Михальченко Г.Я., директор НИИ ПрЭ, д.т.н., проф.;
зам. председателя – Семёнов В.Д., проф. каф. ПрЭ, к.т.н.*

<i>У. Лхазвасурэн</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ОДНОФАЗНОГО МОСТОВОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ.....	48
<i>М. Кан</i>	
УТОЧНЕНИЕ ГРАНИЦЫ СУЩЕСТВОВАНИЯ ПЕРВОЙ МОДЕЛИ ВЫПРЯМИТЕЛЯ	51
<i>В.В. Емельянов</i>	
ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОСТОЯННОГО ТОКА ШПИНДЕЛЯ НАМОТОЧНОГО СТАНКА С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.....	54

<i>Д.Е. Филатов</i>	
МОДУЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В ТРАНСФОРМАТОРАХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ.....	56
<i>К.Ж. Габдолла, Е.А. Псиола</i>	
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ	59
<i>И.Е. Гедзенко</i>	
ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ТРАНЗИСТОРНЫЙ КОММУТАТОР	61
<i>В.Е. Вишняков, В.А. Кабиров</i>	
РАСЧЕТ ПОТЕРЬ В ФЕРРИТЕ ИЗ МАТЕРИАЛА 3F46	65
<i>А.Е. Кебекбаев</i>	
ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ И ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КВАЗИРЕЗОНАНСНОГО ОБРАТНОХОДОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С АКТИВНЫМ ДЕМПФИРОВАНИЕМ	69
<i>О.Б. Тохтаров, Д.В. Ли, Е.В. Ким</i>	
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОТАКТНОГО НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПОВЫШАЮЩЕГО ТИПА С ШИМ.....	72
<i>В.В. Мирзьяков, С.А. Пакульчев, Д.А. Малофеев, М.А. Кажмаганбетова</i>	
ИНВЕРТОР ДЛЯ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ	76
<i>А.С. Попов, а И.Е. Меняйло</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА ИХ СВОЙСТВ	78
<i>М.С. Огнева</i>	
ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ БАКАЛАВРА ПРОФИЛЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФГОС ВО 3++	81
<i>Р.Ф. Кудрявцев</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДЯЩЕГО ПОКРЫТИЯ ПД-S16 ДЛЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ	85
<i>Т.Р. Сакавов</i>	
БИФУРКАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПОНИЖАЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ЧАСТОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ	87
<i>В.А. Шарыгин</i>	
МАЛОМОЩНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДРАЙВЕРА ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА	90

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.*

Р.Р. Габдрахимова, Н.Я. Бикбердина

ВЛИЯНИЕ ЦВЕТА ТЕСТ-ОБЪЕКТОВ НА ОТКЛИК
ОПТОЭЛЕКТРОННОЙ ОХРАННОЙ СИСТЕМЫ..... 94

Т.Л. Григорян, Б.М. Будаев

КАНАЛЬНЫЕ ВОЛНОВОДНЫЕ СТРУКТУРЫ, ОПТИЧЕСКИ
ИНДУЦИРОВАННЫЕ В КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ
С УЧЕТОМ ВКЛАДА ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА..... 98

М.Н. Гаппарова, В.А. Осипов

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИФРОВЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ
ЛИНЕЙНЫХ ТРАКТОВ 102

О.Т. Важинский, Э.В. Комов, К.С. Важинская, Н.И. Буримов

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ
ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИХ МОДУЛЯТОРОВ 104

К.В. Заичко

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФОТОННО-
КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ВОЛОКОН НА ПЕРСПЕКТИВНЫХ
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ С ДЛИТЕЛЬНЫМ СРОКОМ
АКТИВНОГО СУЩЕСТВОВАНИЯ..... 106

ПОДСЕКЦИЯ 2.6

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

*Председатель – Заболоцкий А.М., доцент каф. ТУ, к.т.н.
зам. председателя – Куксенко С.П., доцент каф. ТУ, к.т.н.*

А.С. Архипенко, П.Е. Орлов

ВЫБОР ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ПАССИВНОГО ПРОВОДНИКА
ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕГО В КАЧЕСТВЕ ДАТЧИКА
КОНДУКТИВНЫХ ЭМИССИЙ..... 109

А.В. Бусыгина

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ
СОВМЕСТИМОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ КАРДИОСТИМУЛЯТОРОВ 112

К.А. Демчук

ОБЗОР ИНТЕГРИРОВАННЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА
ИЗЛУЧАЕМЫХ И КОНДУКТИВНЫХ ЭМИССИЙ
В ИНТЕРАЛЬНЫХ СХЕМАХ..... 116

<i>С.А. Доброславский, М.В. Храпцов</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ СХЕМЫ ЗАЩИТЫ БЛОКА ПИТАНИЯ ETHERNET КОММУТАТОРА	118
<i>А.Т. Илияс</i> АНАЛИЗ ПАРАЗИТНЫХ ВЗАИМОВЛИЯНИЙ В ЕМИ-ФИЛЬТРАХ: ОБЗОР	121
<i>С.Х. Карри, Р.С. Суровцев</i> ОБЗОР МЕТОДОВ И ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ПОТЕРЬ НА ИЗЛУЧЕНИЕ В ПОЛОСКОВЫХ ЛИНИЯХ	123
<i>Ю.Е. Ермакова, О.С. Каймонов</i> ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ КВ-РАДИОСВЯЗИ В СИСТЕМЕ ОПЕРАТИВНОГО РЕАГИРОВАНИЯ МЧС РОССИИ	127
<i>А.В. Медведев</i> МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА: ОБЗОР	130
<i>Д.А. Мозгова, Е.С. Полунина</i> БИЗНЕС-ПЛАН ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЭКРАНИРОВАННОЙ ТЕМ-КАМЕРЫ	133
<i>Б.С. Мухамбетжанова</i> МЕТОДЫ ПОДАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ: ОБЗОР	135
<i>Д.Т. Нурахмет</i> АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ПРЕДНАМЕРЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ: ОБЗОР	138
<i>Р.А. Сайткулов</i> АКТУАЛЬНОСТЬ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РАБОТУ ФИЛЬТРА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ	141
<i>Е.А. Сердюк, А.В. Носов</i> ОБЗОР МЕТОДОВ И ПОДХОДОВ К МОДЕЛИРОВАНИЮ МЕАНДРОВЫХ ЛИНИЙ ЗАДЕРЖКИ	144
<i>И.А. Трубченинова, А.В. Бусыгина</i> ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ	147
<i>Е.С. Жечев</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМЫ ГЕНЕРАТОРА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА	150
<i>А.В. Жечева</i> РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ДЛЯ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ	152
<i>М.А. Зуева</i> ОБЗОР СПОСОБОВ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНЫХ СЕТОК	155
<i>М.Д. Дягилев, И.А. Козырев</i> ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ В КАНАЛАХ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ	158

ПОДСЕКЦИЯ 2.7

СВЕТОДИОДЫ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

Председатель – Туев В.И., зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.

зам. председателя – Вилисов А.А., проф. каф. РЭТЭМ, д.т.н.

К.Н. Афонин

МЕТОДЫ ТЕПЛОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ.....	161
<i>Е.С. Гайбович, Е.С. Загородняя, В.С. Парамонов</i>	
ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ УЧЕБНЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ.....	165
<i>А.Ю. Хомяков, Ю.В. Юлаева</i>	
МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИСКУССТВЕННОГО ОБЛУЧЕНИЯ РАСТЕНИЙ СВЕТОДИОДНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ СВЕТА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ ТЕПЛИЦ	168
<i>Ю.В. Юлаева, А.Ю. Хомяков</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА TRASCERO ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДНОГО ИЗЛУЧАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА	171
<i>О.А. Каранкевич</i>	
ЗАХВАТ И ЭМИССИЯ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА КВАНТОВОЙ ЯМОЙ В 3D-ПОЛУПРОВОДНИКАХ	173
<i>О.Е. Котик</i>	
ТОЧНОСТЬ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЦВЕТА В МУЗЕЙНОМ ОСВЕЩЕНИИ.....	177
<i>Д.С. Дубурс, И.В. Попов, Е.О. Круглов</i>	
ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ	179
<i>Е.А. Малаева</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОГРАММЫ ИСПЫТАНИЙ НА ИЗЛУЧАЮЩИЙ СВЕТОДИОД ИК ДИАПАЗОНА С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 905 НМ В МЕТАЛЛОПЛАСТМАССОВОМ КОРПУСЕ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА	181
<i>С.И. Сизов, М.П. Нилов</i>	
УСТРОЙСТВО ЛАЗЕРНОЙ РЕГИСТРАЦИИ ДВИЖЕНИЙ.....	185
<i>И.А. Спиридонов</i>	
ПРОБЛЕМА «СИНЕГО СВЕТА» В СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ.....	186
<i>М.В. Андреева, Е.С. Ганская, Г.А. Косачева, К.В. Тепляков</i>	
ТЕПЛОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СВЕТОДИОДОВ БЕЛОГО ЦВЕТА СВЕЧЕНИЯ.....	189

<i>О.Ф. Задорожный</i>	
СПЕКТР И МОЩНОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ И ТРЕУГОЛЬНОЙ КВАНТОВОЙ ЯМЫ	193
<i>В.О. Бондаренко</i>	
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АВТОНОМНОГО СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ	196
<i>А.В. Овсянникова</i>	
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА	198
<i>Р.Д. Абулев, А.В. Носов</i>	
БЗОР УСТРОЙСТВ, ВЫПОЛНЕННЫХ ПО ТЕХНОЛОГИИ LTCC	202

Научное издание

**Материалы
Международной научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2018»**

16–18 мая 2018 г., г. Томск

В пяти частях

Часть 2

Тексты статей даны в авторской редакции, без корректуры
Верстка **В.М. Бочкаревой**

Издательство «В-Спектр».
Сдано на верстку 10.04.2018. Подписано к печати 10.05.2018.
Формат 60×84¹/₁₆. Печать трафаретная. Печ. л. 13,25
Тираж 100 экз. Заказ 11.

Издано ТУСУР, г. Томск, пр. Ленина, 40, к. 205, т. 70-15-24
(записано 700 CD-дисков с электронными версиями всех частей сборника
для нужд всех структурных подразделений университета и авторов)

Издательство «В-Спектр».
634055, г. Томск, пр. Академический, 13-24, т. 49-09-91
E-mail: bvm@sibmail.com