

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР–2011

**Материалы
Всероссийской научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2011»**

4–6 мая 2011 г.

В шести частях

Часть 1

В-Спектр
2011

УДК 621.37/.39+681.518 (063)

ББК 32.84я431+32.988я431

Н 34

Н 34 Научная сессия ТУСУР–2011: Материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 4–6 мая 2011 г. – Томск: В-Спектр, 2011: В 6 частях. – Ч. 1. – 344 с.

ISBN 978-5-91191-205-8

ISBN 978-5-91191-206-6 (Ч. 1)

Материалы Всероссийской 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 автоматизированным системам 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 защите информации. Представлены статьи по математическому моделированию в технике, экономике и менеджменте, антикризисному управлению, 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 978-5-91191-205-8

ISBN 978-5-91191-206-6 (Ч.1)

© Том. гос. ун-т систем управления
и радиоэлектроники, 2011

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

**Всероссийская научно-техническая конференция
студентов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР – 2011»
4–6 мая 2011 г.**

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

- *Шурыгин Ю.А.* – председатель Программного комитета, ректор ТУСУРа, заслуженный деятель науки РФ, д.т.н., профессор;
- *Шелупанов А.А.* – сопредседатель Программного комитета, проректор по НР ТУСУРа, зав. каф. КИБЭВС ТУСУРа, д.т.н., профессор;
- *Беляев Б.А.*, зав. лабораторией электродинамики» Ин-та физики СО РАН, д.т.н., г. Красноярск;
- *Ворошилин Е.П.*, зав. каф. ТОР, к.т.н.;
- *Голиков А.М.*, доцент каф. РТС, к.т.н.;
- *Грик Н.А.*, зав. каф. ИСР, д.ист.н., профессор;
- *Давыдова Е.М.*, зам. зав. каф. КИБЭВС по УР, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.;
- *Дмитриев В.М.*, зав. каф. ТОЭ, д.т.н., профессор;
- *Еханин С.Г.*, профессор. каф. КУДР, д.ф.-м.н., доцент;
- *Ехлаков Ю.П.*, проректор по информатизации и управлению ТУСУРа, зав. каф. АОИ, д.т.н., профессор;
- *Зариковская Н.В.*, доцент каф. ФЭ, к.ф.-м.н.;
- *Карташев А.Г.*, профессор каф. РЭТЭМ, д.б.н.
- Катаев М.Ю., профессор каф. АСУ, д.т.н.;
- *Коцубинский В.П.*, зам. зав. каф. КСУП, доцент каф. КСУП, к.т.н.;
- *Лоцилов А.Г.*, с.н.с. СКБ «Смена» ТУСУРа, к.т.н.;
- *Лукин В.П.*, директор отд. распространения волн Ин-та оптики атмосферы СО РАН, почетный член Американского оптического общества, д.ф.-м.н., профессор, г. Томск;
- *Малюк А.А.*, декан фак-та информационной безопасности МИФИ, к.т.н., г. Москва;
- *Малютин Н.Д.*, начальник НУ ТУСУРа, директор НОЦ «Нанотехнологии», д.т.н., профессор;

- *Мещераков Р.В.*, зам. начальника НУ ТУСУРа, доцент, зам. зав. каф. КИБЭВС по НР, к.т.н.;
- *Мицель А.А.*, профессор, зам. зав. каф. АСУ, д.т.н.;
- *Осипов Ю.М.*, зав. отделением каф. ЮНЕСКО ТУСУРа, академик Международной академии информатизации, д.э.н., д.т.н., профессор;
- *Пустынский И.Н.*, зав. каф. ТУ, заслуженный деятель науки и техники РФ, д.т.н., профессор;
- *Разинкин В.П.*, профессор, каф. ТОР НГТУ, д.т.н., г. Новосибирск;
- *Семиглазов А.М.*, профессор каф. ТУ, д.т.н., ;
- *Суслова Т.И.*, декан ГФ, зав. каф. КС, д.ф.н., доцент;
- *Титов А.А.*, профессор каф. РЗИ, д.т.н., доцент;
- *Троян П.Е.*, зав. каф. ФЭ, д.т.н., профессор;
- *Уваров А.Ф.*, проректор по инновационному развитию и международной деятельности ТУСУРа, зав. каф. УИ, к.э.н.;
- *Ходашинский И.А.*, профессор каф. АОИ, д.т.н.;
- *Черепанов О.И.*, профессор каф. ЭСАУ, д.ф.-м.н.;
- *Шарангович С.Н.*, профессор, зав. каф. СВЧиКР, к.ф.-м.н.;
- *Шарыгин Г.С.*, зав. каф. РТС, д.т.н., профессор;
- *Шостак А.С.*, профессор каф. КИПР, д.т.н.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

- *Шелупанов А.А.* – председатель Организационного комитета, проректор по НР ТУСУРа, зав. каф. КИБЭВС, д.т.н., профессор;
- *Ярымова И.А.* – зам. председателя Оргкомитета, зав. ОППО ТУСУРа, к.б.н.;
- *Юрченкова Е.А.* – секретарь Оргкомитета, инженер ОППО ТУСУРа, к.х.н.

СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

- Секция 1. Радиотехнические системы и распространение радиоволн.
Председатель секции – Шарыгин Герман Сергеевич, зав. каф. РТС, д.т.н., проф.; зам. председателя – Тисленко Владимир Ильич, проф. каф. РТС, д.т.н., доцент.
- Секция 2. Защищенные телекоммуникационные системы. Председатель секции – Голиков Александр Михайлович, доцент каф. РТС, к.т.н.; зам. председателя – Бернгардт Александр Самуилович, доцент каф. РТС, к.т.н.
- Секция 3. Аудиовизуальная техника, бытовая радиоэлектронная аппаратура и сервис. Председатель секции – Пустынский Иван

- Николаевич, зав. каф. ТУ, д.т.н., проф.; зам. председателя – Костевич Анатолий Геннадьевич, с.н.с. каф. ТУ НИЧ, к.т.н.
- Секция 4. Проектирование биомедицинской аппаратуры. Председатель секции – Еханин Сергей Георгиевич, проф. каф. КУДР, д.ф.-м.н., доцент; зам. председателя – Романовский Михаил Николаевич, доцент каф. КУДР, к.т.н.
- Секция 5. Конструирование и технологии радиоэлектронных средств. Председатель секции – Лошилов Антон Геннадьевич, с.н.с. СКБ «Смена», к.т.н.; зам. председателя – Бомбизов Александр Александрович, м.н.с. СКБ «Смена».
- Секция 6. Интегрированные информационно-управляющие системы. Председатель секции – Катаев Михаил Юрьевич, проф. каф. АСУ, д.т.н.; зам. председателя – Бойченко Иван Валентинович, доцент каф. АСУ, к.т.н.
- Секция 7. Оптические информационные технологии, нанофотоника и оптоэлектроника. Председатель секции – Шарангович Сергей Николаевич, проф., зав. каф. СВЧиКР, к.ф.-м.н.; зам. председателя – Буримов Николай Иванович, зав. УНЛ каф. ЭП НИЧ, к.т.н.
- Секция 8. Физическая и плазменная электроника. Председатель секции – Троян Павел Ефимович, зав. каф. ФЭ, д.т.н., проф.; зам. председателя – Смирнов Серафим Всеволодович, проф. каф. ФЭ, д.т.н.
- Секция 9. Распределённые информационные технологии и системы. Председатель секции – Ехлаков Юрий Поликарпович, проректор по информатизации и управлению ТУСУРа, зав. каф. АОИ, д.т.н., проф.; зам. председателя – Сенченко Павел Васильевич, декан ФСУ, доцент каф. АОИ, к.т.н.
- Подсекция 9.1. Распределённые информационные технологии и системы. Председатель секции – Ехлаков Юрий Поликарпович, проректор по информатизации и управлению ТУСУРа, зав. каф. АОИ, д.т.н., проф.; зам. председателя – Сенченко Павел Васильевич, декан ФСУ, доцент каф. АОИ, к.т.н.
- Подсекция 9.2. Современные библиотечные технологии. Председатель секции – Абдрахманова Марина Викторовна, зав. библиотекой ТУСУРа; зам. председателя – Карауш Александр Сергеевич, доцент каф. РЗИ, к.т.н.
- Секция 10. Вычислительный интеллект. Председатель секции – Ходашинский Илья Александрович, проф. каф. АОИ, д.т.н.; зам. председателя – Лавыгина Анна Владимировна, ст. преп. каф. АОИ, к.т.н.

- Секция 11. Автоматизация технологических процессов. Председатель секции – Давыдова Елена Михайловна, доцент, зам. зав. каф. КИБЭВС по УР, к.т.н.; зам. председателя – Зыков Дмитрий Дмитриевич, доцент каф. КИБЭВС, к.т.н.
- Секция 12. Аппаратно-программные средства в системах управления и проектирования. Председатель секции – Шурыгин Юрий Алексеевич, ректор ТУСУРа, зав. каф. КСУП, д.т.н., проф.; зам. председателя – Коцубинский Владислав Петрович, доцент каф. КСУП, к.т.н.
- Подсекция 12.1. Интеллектуальные системы проектирования технических устройств. Председатель секции – Черкашин Михаил Владимирович, декан ФВС, доцент каф. КСУП, к.т.н.
- Подсекция 12.2. Адаптация математических моделей для имитации сложных технических систем. Председатель секции – Коцубинский Владислав Петрович, доцент каф. КСУП, к.т.н.
- Подсекция 12.3. Инструментальные средства поддержки сложного процесса. Председатель секции – Хабибуллина Надежда Юрьевна, доцент каф. КСУП, к.т.н.
- Подсекция 12.4. Автоматизация проектирования в AutoCAD и КОМПАС. Председатель секции – Дорофеев Сергей Юрьевич, ассистент каф. КСУП.
- Секция 13. Радиотехника. Председатель секции – Титов Александр Анатольевич, проф. каф. РЗИ, д.т.н., доцент; зам. председателя – Семенов Эдуард Валерьевич, доцент каф. РЗИ, к.т.н.
- Секция 14. Методы и системы защиты информации. Информационная безопасность. Председатель секции – Шелупанов Александр Александрович, проректор по НР ТУСУР, зав. каф. КИБЭВС, д.т.н., проф.; зам. председателя – Мещеряков Роман Валерьевич, зам. начальника НУ ТУСУР, доцент, зам. зав. каф. КИБЭВС по НР, к.т.н.
- Секция 15. Информационно-измерительные приборы и устройства. Председатель секции – Черепанов Олег Иванович, проф. каф. ЭСАУ, д.ф.-м.н.; зам. председателя – Шидловский Виктор Станиславович, доцент каф. ЭСАУ, к.т.н.
- Секция 16. Промышленная электроника. Председатель секции – Михальченко Геннадий Яковлевич, директор НИИ ПрЭ, д.т.н., проф.; зам. председателя – Семенов Валерий Дмитриевич, проф., зам. зав. каф. ПрЭ по НР, к.т.н.
- Секция 17. Математическое моделирование в технике, экономике и менеджменте. Председатель секции – Мицель Артур Александрович, проф. каф. АСУ, д.т.н.; зам. председателя – Зариковская Наталья Вячеславовна, доцент каф. ФЭ, к.ф.-м.н.

- Подсекция 17.1. Моделирование в естественных и технических науках. Председатель секции – Зариковская Наталья Вячеславовна, доцент каф. ФЭ, к.ф.-м.н.
- Подсекция 17.2. Моделирование, имитация и оптимизация в экономике. Председатель секции – Мицель Артур Александрович, проф. каф. АСУ, д.т.н.; зам. председателя – Кузьмина Елена Александровна, доцент каф. АСУ, к.т.н.
- Секция 18. Экономика и управление. Председатель секции – Осипов Юрий Мирзоевич, зав. отделением каф. ЮНЕСКО, д.э.н., д.т.н., проф.; зам. председателя – Васильковская Наталья Борисовна, доцент каф. экономики, к.э.н.
- Секция 19. Антикризисное управление. Председатель секции – Семиглазов Анатолий Михайлович, проф. каф. ТУ, д.т.н.; зам. председателя – Бут Олеся Анатольевна, ассистент каф. ТУ.
- Секция 20. Экология и мониторинг окружающей среды. Безопасность жизнедеятельности. Председатель секции – Карташев Александр Георгиевич, проф. каф. РЭТЭМ, д.б.н.; зам. председателя – Смолина Татьяна Владимировна, доцент каф. РЭТЭМ, к.б.н.
- Секция 21. Социокультурные проблемы современности. Председатель секции – Сулова Татьяна Ивановна декан ГФ, декан ГФ, зав. каф. КС, д.ф.н., доцент; зам. председателя – Грик Николай Антонович, зав. каф. ИСР, д.ист.н., проф.
- Подсекция 21.1. Актуальные проблемы социальной работы в современном обществе. Председатель секции – Грик Николай Антонович, зав. каф. ИСР, д.ист.н., проф.; зам. председателя – Казакевич Людмила Ивановна, доцент каф. ИСР, к.ист.н.
- Подсекция 21.2. Философия и специальная методология. Председатель секции – Московченко Александр Дмитриевич, зав. каф. философии, д.ф.н., проф.; зам. председателя – Раитина Маргарита Юрьевна, к.ф.н., доцент каф. философии.
- Секция 22. Инновационные проекты, студенческие идеи и проекты. Председатель секции – Уваров Александр Фавстович, проректор по инновационному развитию и международной деятельности ТУСУР, к.э.н.; зам. председателя – Чекчеева Наталья Валерьевна, зам. директора Студенческого бизнес-инкубатора (СБИ), к.э.н.
- Секция 23. Автоматизация управления в технике и образовании. Председатель секции – Дмитриев Вячеслав Михайлович, зав. каф. ТОЭ, д.т.н., проф.; зам. председателя – Ганджа Тарас Викторович, доцент ВКИЭМ, к.т.н.

- Секция 24. Проектная деятельность школьников в сфере информационно-коммуникационных технологий. Председатель секции – Вьюгова Татьяна Сергеевна, руководитель отдела образовательных программ ОЦ «Школьный университет».
- Секция 25. Системы и сети электро- и радиосвязи. Председатель секции – Ворошилин Евгений Павлович, зав. каф. ТОР, к.т.н.; зам. председателя – Белов Владимир Иванович, доцент каф. ТОР, к.т.н.
- Секция 26. Проектирование и эксплуатация радиоэлектронных средств. Председатель секции – Шостак Аркадий Степанович, проф. каф. КИПР, д.т.н.; зам. председателя – Озёркин Денис Витальевич, декан РКФ, доцент каф. КИПР, к.т.н.

Адрес Оргкомитета:

**634050, Россия, г. Томск,
пр. Ленина, 40, ГОУ ВПО «ТУСУР»,
Научное управление (НУ), к. 205
Тел.: 8-(3822)-701-524, 701-582
E-mail: nstusur@main.tusur.ru**

- 1-й том – 1–7-я секции;
- 2-й том – 8–10, 13-я секции;
- 3-й том – 11-я, 14-я секции;
- 4-й том – 12, 15, 19-я секции;
- 5-й том – 16–18-я секции;
- 6-й том – 20–26-я секции.

СЕКЦИЯ 1

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

*Председатель – Шарыгин Г.С., зав. каф. РТС, д.т.н., профессор,
зам. председателя – Тисленко В.И., профессор каф. РТС, д.т.н.,
доцент*

ПОГРЕШНОСТЬ ПЕЛЕНГОВАНИЯ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНЫМИ АНТЕННАМИ В УСЛОВИЯХ МЕШАЮЩИХ ОТРАЖЕНИЙ

*А.С. Аникин, аспирант каф. РТС,
В.П. Денисов, д.т.н., проф. каф. РТС
г. Томск, ТУСУР, НИИ РТС, rbk@sibmail.com*

Целью работы является определение ошибки пеленгования источника радиоизлучения малогабаритными антеннами при наличии отражающих объектов на местности. Для простоты рассмотрение ограничено влиянием одного такого объекта, произвольно расположенного в районе пеленгуемого источника.

Аналогичный вопрос изучен в литературе [1, 2], где оцениваются ошибки пеленгования сложных целей на основе двухточечной модели.

Рассмотрим падение двух плоских волн на ось OX , вдоль которой расположены апертуры антенн пеленгатора. Волна от источника падает по нормали к оси OX , а волна, отраженная от местного объекта, распространяется под углом. Суперпозицию падающих плоских волн можно представить гармоническим сигналом [3]

$$u(t,x) = U(x) \cdot \cos[\omega_0 \cdot t + \psi(x)],$$

где ω_0 – частота сигнала, $U(x)$ и $\psi(x)$ – амплитуда и фаза результирующего сигнала, причем

$$\psi(x) = (k \cdot x \cdot \nu_1 + \gamma_1) + \arctg \left(\frac{R \cdot \sin[k \cdot x \cdot (\nu_1 - \nu_2) + \gamma_2 - \gamma_1]}{1 + R \cdot \cos[k \cdot x \cdot (\nu_1 - \nu_2) + \gamma_2 - \gamma_1]} \right), \quad (1)$$

где $R = U_{\text{пр}}/U_{\text{отр}}$ – отношение амплитуд прямого и отраженного сигналов; γ_1, γ_2 – начальные фазы сигналов источника излучения источ-

ника и отражений в месте приема; $v_1 = \sin(\alpha_1)$, $v_2 = \sin(\alpha_2)$; α_1 и α_2 – углы прихода прямой и отраженной волн относительно нормали к оси OX ; $k = 2 \cdot \pi / \lambda$ – волновое число.

Предположим, что $\alpha_1 = 0$, тогда выражение (1) запишется в виде

$$\psi(x) = \gamma_1 + \arctg \left(\frac{R \cdot \sin[k \cdot x \cdot v_2 + \gamma_2 - \gamma_1]}{1 + R \cdot \cos[k \cdot x \cdot v_2 + \gamma_2 - \gamma_1]} \right). \quad (2)$$

Изобразим $\psi(x)$ на рис. 1. Для определенности примем в (2) $R = 0,5$, $v_2 = 0,005$ рад, $\gamma_1 = \gamma_2 = 0$ рад, $\lambda = 0,1$ м.

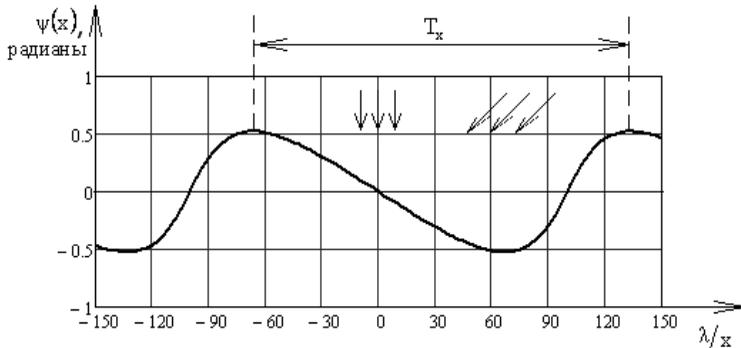


Рис. 1. Изменение фазы суммарной волны вдоль оси OX при падении двух плоских волн

Зависимость $\psi(x)$ является периодической и отражает фазовый фронт интерференции двух плоских волн. Период функции $\psi(x)$ определяется отношением длины волны λ к угловому разносу падающих волн $\Delta v = v_1 - v_2$ и равен $T_x = \lambda / \Delta v$. Будем считать антенны малогабаритными, если размер апертуры гораздо меньше пространственного периода T_x . Малогабаритным антеннам свойственны широкие амплитудные диаграммы направленности [4].

Для таких антенн фазовый фронт суммарной волны на апертуре можно приближенно считать плоским, а амплитуду постоянной. Тогда угол прихода результирующей волны α направлен по нормали к этому фронту.

Отклонение нормали от направления $\alpha_1 = 0$ равно ошибке пеленгования $\Delta \alpha$. Это эквивалентно отклонению от оси OX касательной к функции $\psi(x)$, поскольку $\Delta \psi = k \cdot \ell \cdot \sin(\alpha)$ и

$$\Delta\alpha = \lim_{\Delta\ell \rightarrow 0} \left(\text{asin}(\Delta\psi / (k \cdot \Delta\ell)) \right) = \text{asin}(\partial\psi / (k \cdot \partial x)). \quad (3)$$

Выражение производной от (2) по x запишется как

$$\frac{\partial\psi}{\partial x} = \frac{-R \cdot k \cdot v_2 \cdot (R + \cos[\gamma_2 - \gamma_1 - k \cdot x \cdot v_2])}{1 + 2 \cdot R \cdot \cos[\gamma_2 - \gamma_1 - k \cdot x \cdot v_2] - R^2}. \quad (4)$$

Ошибку пеленгования можно вычислить из (3), подставляя в него выражение (4). Получим

$$\Delta\alpha(x) = \text{asin} \left(\frac{-R \cdot v_2 \cdot (R + \cos[\gamma_2 - \gamma_1 - k \cdot x \cdot v_2])}{1 + 2 \cdot R \cdot \cos[\gamma_2 - \gamma_1 - k \cdot x \cdot v_2] - R^2} \right). \quad (5)$$

Анализ выражения (5) показывает, что зависимость ошибки пеленгования вдоль оси OX есть периодическая функция с ярко выраженными экстремумами, отражающими интерференционную картину двух плоских волн. Минимальные и максимальные ошибки пеленгования зависят от R и v_2 и равны $\alpha_{\min} = \arcsin(-R \cdot v_2 / R + 1)$ и $\alpha_{\max} = \arcsin(-R \cdot v_2 / R - 1)$ (6) соответственно. В таблице показаны абсолютные значения экстремальных ошибок пеленгования для соответствующих R и v_2 .

Результаты расчета экстремальных ошибок пеленгования

v_2 , рад	R	α_{\min}	α_{\max}
		рад	
0,005	0,1	4,5E-04	5,5E-04
	0,5	1,6E-03	5,0E-03
	0,8	2,0E-02	2,2E-03
0,05	0,1	4,5E-03	5,5E-03

Экстремумы ошибок пеленгования наблюдаются в точках фазового фронта, где отклонения от оси OX касательной к функции $\psi(x)$ принимают максимальные и минимальные значения.

Координаты точек экстремумов соответствуют значениям

$$x_{\alpha \min} = \lambda \left(2n + 1 - \left\{ (\gamma_2 - \gamma_1) / \pi \right\} \right) / 2v_2$$

и $x_{\alpha \max} = \lambda \left(2n - \left\{ (\gamma_2 - \gamma_1) / \pi \right\} \right) / 2 \cdot v_2$ для всех $n = 0, 1, 2, \dots$ (7)

Пространственный период изменения ошибки пеленгования T'_x не зависит от R , γ_1 , γ_2 и равен пространственному периоду фазового фронта $T'_x = T_x = \lambda / (v_1 - v_2)$.

На рис. 2 построена зависимость $\alpha(x)$ по формуле (5) при $\lambda=0,1$ м, $\nu_2=0,005$ рад, $\gamma_1=\gamma_2=0$, $R=0,5$. По оси абсцисс отложена величина x/λ , а по оси ординат – значения ошибки пеленгования в радианах.

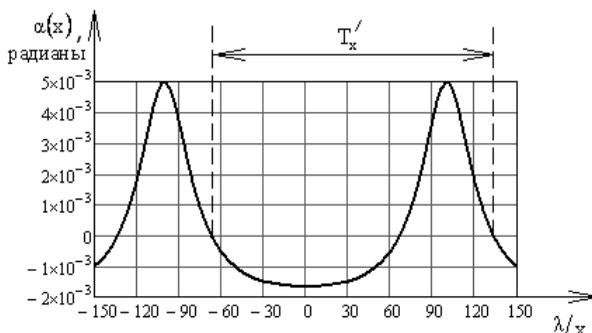


Рис. 2. Зависимость ошибки пеленгования $\alpha(x)$ в результате интерференции двух плоских волн

Из рис. 2 видно, что значения максимальной и минимальной ошибок и их координат соответствуют формулам (6), (7).

Согласно данным таблицы зависимость ошибки пеленгования от R и ν_2 нелинейная. При $R > 0,5$ максимальная ошибка пеленгования превышает величину $\Delta\nu = \nu_1 - \nu_2$. Из рис. 2 видно, что для $R = 0,5$ максимальная ошибка пеленгования равна разнице углов прихода сигналов $\Delta\nu$.

При прочих равных условиях с увеличением углового разноса между плоскими волнами возрастают ошибка пеленга и период T_x .

ЛИТЕРАТУРА

1. *Островитянов Р.В.* Статистическая теория радиолокации протяженных целей / Р.В. Островитянов, Ф.А. Басалов. М.: Радиосвязь, 1982. 232 с.
2. *Леонов А.И.* Моноимпульсная радиолокация / А.И. Леонов, К.И. Фомичев. М.: Советское радио, 1970. 392 с.
3. Малогабаритные широкополосные антенны для носимого пеленгатора: научная сессия ТУСУР–2008: матер. докл. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 5–8 мая 2008 г.; в 5 ч. Ч. 5. Томск: В-Спектр, 2008. 274 с.
4. *Денисов В.П.* Фазовые радиопеленгаторы / В.П. Денисов, Д.В. Дубинин. Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2002. 251 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СЕЗОННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ОСЛАБЛЕНИЯ РАДИОВОЛН ЛИСТВЕННЫМ ЛЕСОМ

А.А. Гельцер, аспирант, м.н.с.,

Н.А. Кузнецова, м.н.с.

г. Томск, ТУСУР, НИИ РТС, каф. РТС, rwplab@ms.tusur.ru

В статье представлены экспериментальные оценки ослабления радиоволн в зимний и осенний периоды лесом в трехсантиметровом диапазоне волн для разных поляризаций излучаемого сигнала.

Некоторые прикладные задачи, такие как развитие сотовой телефонной и беспроводной широкополосной связи, а также средств дистанционного зондирования Земли, оживили исследования в области распространения радиоволн в лесопарковой зоне и в лесах различного вида. Работы [1, 2] и многие другие представляют результаты изучения механизмов ослабления в лесу радиоволн метрового и дециметрового диапазонов.

Целью данной работы является представление экспериментальной оценки отражающих свойств и ослабления радиосигнала в лесу на частоте 9200 МГц при простом импульсном сигнале длительностью 300 нс в зимнем (без листвы) и осеннем (с листвой) сезонах года.

Оценки ослабления радиоволн в лесу были получены в схеме двухпозиционной радиолокации рис. 1, на котором: П – источник радиоизлучения; Пр – приемник; R – расстояние между приемником и передатчиком; L_r – расстояние от рассеивающей границы леса до приемника; r_{r0} – минимальное расстояние до границы леса; $r_r = r_{r0}/\cos\alpha$ – расстояние между источником радиоизлучения и границей леса; θ – угловой раcтвор положений антенны источника при облучении исследуемого леса; r'_r и r''_r – участки леса, через которые проходит радиоволна от передатчика до точки отражения и от точки отражения в сторону приемника соответственно.

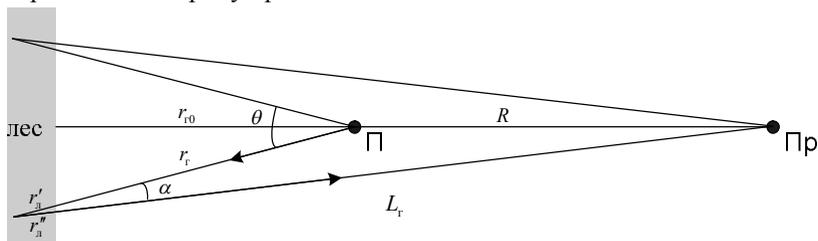


Рис. 1. Двухпозиционная схема зондирования леса

Расчет ЭПР границы леса с учетом её прямой видимости выполняется по формуле [3]

$$\sigma_{\text{л}} = P_{\text{пр. г}} \cdot \frac{16 \cdot \pi^2}{P_{\text{п}} \cdot G_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{п}} \cdot G_{\text{пр}} \cdot \eta_{\text{пр}} \cdot \lambda^2 \cdot V_{\text{г}} \cdot V_{\text{п}}} \cdot 4 \cdot \pi \cdot r_{\text{г}}^2 \cdot L_{\text{г}}^2, \quad (1)$$

где $P_{\text{пр. г}}$ – принятая мощность, отраженная от границы леса; $P_{\text{п}}$ – мощность передатчика источника излучения; $G_{\text{пр}}$ – коэффициент усиления антенны приемника; $\eta_{\text{пр}}$ – КПД фидерных цепей антенны приемника; $G_{\text{п}}$ – коэффициент усиления антенны источника радиоизлучения; $\eta_{\text{п}}$ – КПД фидерных цепей антенны источника радиоизлучения; λ – длина волны радиоизлучения; $L_{\text{г}}$ – длина трассы «лес–приемник» величиной $(r_{\text{г}} + R)$; $V_{\text{г}}$ – множитель ослабления на трассе «лес–приемник»; $V_{\text{п}}$ – множитель ослабления на трассе «источник излучения–лес»; V – множитель ослабления сигнала на трассе «лес–приемник» длиной $L_{\text{г}}$; $V'_{\text{л}}$ – множитель ослабления на участке трассы длиной $r'_{\text{л}}$; $V''_{\text{л}}$ – множитель ослабления на участке трассы длиной $r''_{\text{л}}$.

Дистанционную функцию ослабления радиоволны внутри леса определим как

$$V_{\text{л}} \approx \frac{1}{2} \cdot \left[\left(P_{\text{пр. лес, дБ}} - P_{\text{пр. г, дБ}} \right) - 20 \cdot \lg \left(1 + \frac{r_{\text{л}}}{r_{\text{г}}} \right) \right]. \quad (2)$$

Для оценки ЭПР границы леса и дистанционной зависимости ослабления радиоволн в лесу были использованы экспериментальные материалы, полученные 28.12.2008 г. и 24.09.2010 г. [4].

Для проведения исследований была использована аппаратура, описанная в [4]. Приемно-измерительная аппаратура содержала два рупора для приема вертикальной и горизонтальной компонент поля с шириной ДН в горизонтальной плоскости 10° по уровню 0,5.

По усредненным значениям мощности принимаемых сигналов в секторе углов $\theta \approx 15^\circ$ было вычислено ослабление сигнала $V_{\text{л}}$ в лесном массиве по формуле (2). Результаты представлены на рис. 2 для зимы, на рис. 3 – для осени. По усредненным значениям мощности на границы леса были вычислены ЭПР ($\sigma_{\text{с}}$) и удельные ЭПР (ξ) границы леса по формуле (1), представленные в таблице.

Характеристики отражения от границы леса

Показатели	Зима		Осень	
	ГГ	ВВ	ГГ	ВВ
$\sigma_{\text{с}}, \text{дБ/м}^2$	49,1	55,5	99,5	80,6
$\xi, \text{дБ}$	0,48	0,54	0,97	0,79

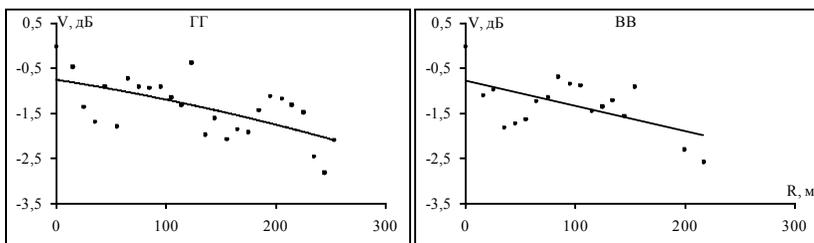


Рис. 2. Ослабление сигнала частотой 9 ГГц в лесу (зима)

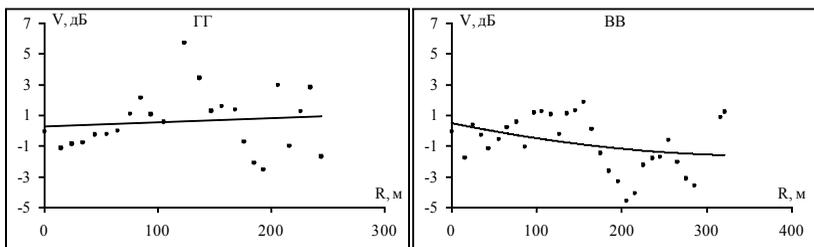


Рис. 3. Ослабление сигнала частотой 9 ГГц в лесу (осень)

Как видно из рис. 2 и 3, погонное ослабление сигнала в лесу составляет 0,02–0,03 дБ/м с листвой, 0,01 дБ/м – без листвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атутов Е.Б., Дагуров П.Н., Ломухин Ю.Л. Ослабляющие свойства лесного покрова // III Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь» / ИРЭ РАН, 26-30 октября 2009 г. С. 536–540.
2. Василенко Г.О. Ослабление радиосигналов при распространении в лесной зоне // Электросвязь. 2008. № 11.
3. Справочник по радиолокации / Под ред. М. Скольника. Нью-Йорк, 1970; пер. с англ. (в 4 т.) / Под общ. ред. К.Н. Трофимова. Т. 3. Радиолокационные устройства и системы / Под ред. А.С. Виноцкого. М.: Сов. радио, 1978. 528 с.
4. Гельцер А.А., Кузнецова Н.А. Экспериментальная оценка двухпозиционной ЭПР границы зимнего лиственного леса // Труды XVI Междунар. науч.-техн. конф. «Радиолокация, навигация, связь». Воронеж, 2009. Т. 3. С. 1813–1821.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ МИНИ- СОДАРА

М.С. Храмов, студент

г. Томск, ТУСУР, каф. РТС, Miheyx@rambler.ru

Введение. Изучение и контроль структуры атмосферного пограничного слоя (АПС) необходимо для решения как фундаментальных проблем физики атмосферы, так и для целого ряда прикладных задач, в том числе связанных с исследованием и прогнозированием распространения радио и звуковых волн в приземной атмосфере. Эффективным для такого контроля является метод дистанционного зондирования атмосферы звуковыми волнами [1]. Причем для измерений в приземном слое атмосферы можно использовать разработанный довольно компактный измеритель – мини-содар [2], по данным которого (факсимильным записям) анализируется термическая структура атмосферы (стратификация атмосферы). Мини-содар – это малогабаритный высокочастотный акустический локатор с характеристиками, приведенными в таблице.

Характеристики мини-содара

Рабочая частота, Гц	4273
Диапазон зондирования, м	8–200
Длительность излучаемого импульса, с	0,1–0,2
Разрешение, м	8

Зондирование термической структуры атмосферы

При исследовании термической структуры атмосферы использовался только один вертикальный канал моностатического зондирования. На основе измерений амплитуды рассеянного атмосферными неоднородностями (турбулентностью) сигнала определяется температурная стратификация (распределение интенсивности температурной турбулентности) вдоль вертикальной трассы зондирования. Величина рассеяния звука в атмосфере определяется сечением рассеяния (σ), входящим в основное уравнение локации [1]. Мощность эхо-сигнала, выражающаяся в степени почернения на приведенных ниже факсимильных записях, пропорциональна сечению обратного рассеяния звука или, соответственно, величине структурной постоянной флуктуаций температуры S_T^2 . Последняя же величина связана с градиентом температуры и, соответственно, с термической структурой атмосферы.

Интерпретация стратификации АПС по виду пространственно-временных турбулентных структур на факсимильных записях локатора является косвенно-визуальным методом и обычно проводится «вруч-

ную». Примеры факсимильной записи мини-содара с различными видами стратификации атмосферы приведены на рис. 1.

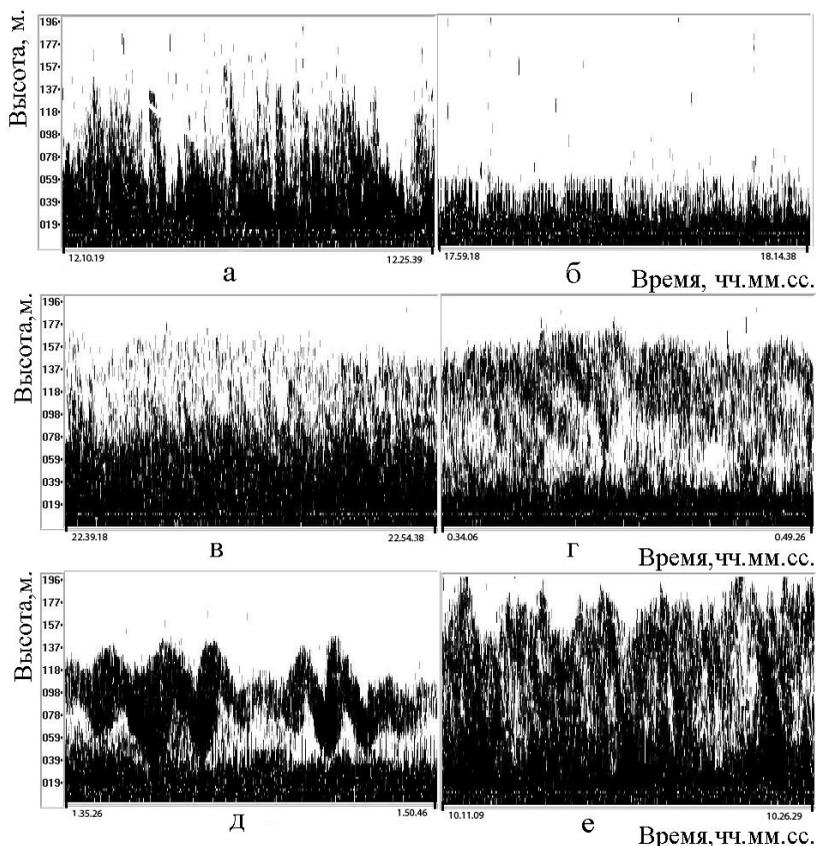


Рис. 1. Высотно-временная термическая структура атмосферы с 11.03 по 12.03.2011 г. (г. Томск, Академгородок).

При неустойчивой стратификации АПС характерным видом факсимильной записи являются отображения на ней быстроизменяющихся вертикальных структур (узкие перья, «полосы» и др.), связанных с турбулентными вихрями в конвективных ячейках (рис. 1, а, е – перья до высот 160 и 200 м соответственно). При устойчивой стратификации АПС приземные и приподнятые инверсии температуры проявляются на факсимильной записи в виде отчетливых слоистых (горизонтальных, наклонных) турбулизированных отображений (рис. 1, г, д – слои приподнятой инверсии на высотах 137 и 100 м соответственно). При

безразличной стратификации сигнал на записи практически отсутствует вовсе (рис. 1, б). Переходные состояния АПС представлены на рис. 1, в, е.

Заключение. Возможность получения информации в масштабе реального времени с высоким пространственным и временным разрешением делает мини-сонары уникальным инструментом для исследования тонкой структуры АПС и контроля его состояния. А прогнозирование состояния АПС позволит оценивать его влияние на характеристики распространяющихся в нем радио- и звуковых волн.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Красненко Н.П.* Акустическое зондирование атмосферного пограничного слоя. Томск, 2001. 278 с.
2. *Храмов М.С., Бикбаев Р.К., Петин Д.А., Сивухин С.В.* Мини-сонар для атмосферных исследований // Научная сессия ТУСУР-2009: Матер. докл. Всероссий. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. 4–7 мая 2010 г. Ч. 1. Томск: В-Спектр, 2010. С. 36–38.

БЕСПЛАТФОРМЕННЫЕ ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

А.С. Конаков, студент

Научный руководитель В.И. Тисленко, проф. каф. РТС, д.т.н.

Научный консультант А.А. Савин, доцент каф. РТС, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, РТФ, violet@t-sk.ru

В связи с существующей у потребителя потребностью точно знать свои координаты в любых условиях широкое развитие получили спутниковые радионавигационные системы (СРНС). Однако в условиях города при наличии переотражателей или в карьерах эти системы не обеспечивают необходимую точность. Очевидным путем преодоления этой трудности является комплексирование СРНС с бесплатформенной инерциальной системой (БИНС). Вычислители координат на основе БИНС отличаются сравнительно низкой стоимостью и способны автономно решать навигационную задачу. Их недостаток состоит в накоплении погрешности оценок координат, что связано с численным интегрированием уравнений при наличии случайных возмущений сигналов первичных датчиков.

Существенным в БИНС является то, что все величины измеряются в связанном с объектом базисе с помощью микроэлектромеханических датчиков (гироскопы, которые выдают информацию об угловой скоро-

сти ($\omega_i, i = 1, 2, 3$), и акселерометры, определяющие кажущиеся ускорения ($a_i, i = 1, 2, 3$). Следовательно, необходим способ перехода между разными базисами. Наиболее эффективно использовать кватернионный (Q – кватернион с четырьмя параметрами q_i , из которого конструируется матрица поворота $C(Q)$) метод перехода между базисами, который обладает невырожденностью при любой угловой ориентации и безызбыточен, но при этом существенно не линеен [1, 2].

Была определена структура комплексированной системы, на основе анализа, приведенного в [3]. Решено, что данная система имеет два режима работы:

1. Присутствует СРНС: в данном режиме происходит оценивание ошибок БИНС ($\Delta\vec{r}(t)$ – ошибки положения, $\Delta\vec{V}(t)$ – ошибки скорости, $\Delta\dot{Q}(t)$ – ошибки ориентации) с помощью сигма-точечного фильтра Калмана с последующим уточнением решения, полученного с помощью БИНС. Уравнения состояния для данного режима определяются следующим образом:

$$\dot{\vec{X}}(t) = \begin{bmatrix} \Delta\dot{\vec{r}}(t) \\ \Delta\dot{\vec{V}}(t) \\ \Delta\dot{Q}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta\vec{V}(t) \\ -2\Omega_{ie}^e \Delta V^e(t) + C(Q_b^E) \left[\left(\Delta C(\Delta Q_b^E) - I_{3 \times 3} \right) a^b + \Delta C(\Delta Q_b^E) \nabla_a \right] \\ \frac{1}{2} \cdot B \cdot \left[\left(\Delta C(\Delta Q_b^E) - I_{3 \times 3} \right) \cdot \omega_{Eb}^b \right] + \frac{1}{2} B \nabla_\omega \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Матрица \mathbf{B} конструируется следующим образом:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} -q_1 & -q_2 & -q_3 \\ q_0 & -q_3 & q_2 \\ q_3 & q_0 & -q_1 \\ -q_2 & q_1 & q_0 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

2. Отсутствие СРНС: в этом случае происходит решение навигационной задачи только с помощью БИНС. Для этого по полученным с датчиков данным с помощью сигма-точечного фильтра Калмана определяется вектор состояния данной системы. При этом уравнения состояния имеют такой же вид, как в предыдущем случае, но вектор состояния расширяется шестью новыми переменными состояниями (необходимо оценить ускорения и угловые скорости, поступающие с датчиков).

Для повышения точности в каждом из режимов предполагается представлять наблюдения (во втором случае они включены в вектор состояния) как истинное значение с дрейфом нуля и масштабного коэффициента. Второй режим был детально статистически исследован и

отработан в программной среде Matlab. Далее приведены графики оценок переменной состояния, линейно связанной с наблюдениями, (ускорение по оси OZ), переменной состояния, нелинейно связанной с наблюдениями. Условия численного моделирования: СКО шума положения и скорости соответствовало вводимым в фильтр и составляло соответственно 1,5 м и 0,15 м/с, СКО шума ускорений 0,01 м/с², СКО шума гироскопа 0,01 рад/с, время испытания 5 мин, 50 реализаций, время поступления данных с датчиков 10 мс (таким образом, объем одной выборки составил $3 \cdot 10^4$ отсчетов).

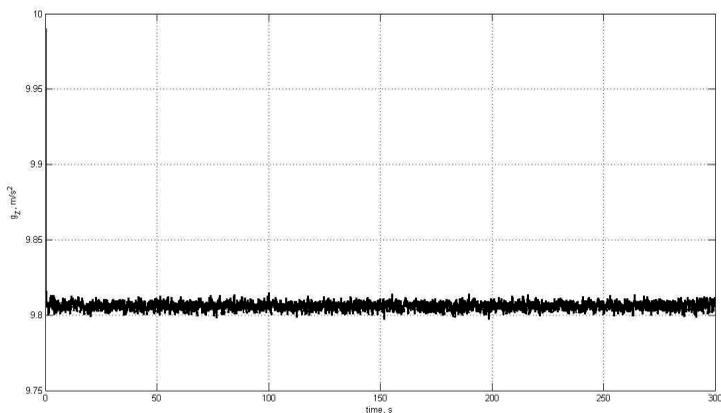


Рис. 1. Оценка ускорения по оси OZ

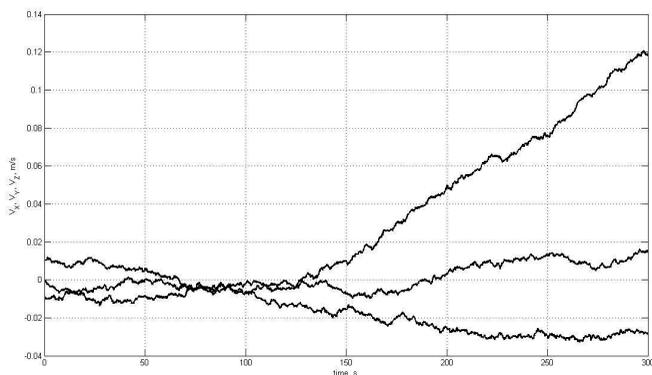


Рис. 2. Оценка координат скорости

Из данных графиков очевидна сильная чувствительность к начальным условиям. СКО местоположения имеет параболический характер (это вызвано двукратным интегрированием получаемых дан-

ных). Дальнейшая работа сведется к разработке оптимального алгоритма комплексирования СРНС и БИНС, обеспечивающего минимальную ошибку в определении координат.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бранец В.Н., Шмыглевский И.П.* Введение в теорию бесплатформенных инерциальных систем. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1992. 280 с.

2. *Амелькин Н.И.* Кинематика и динамика твердого тела / Московский физико-технический институт (государственный университет). М., 2000. С. 62.

3. *Jianchen Gao.* Development of a Precise GPS/INS/On-Board Vehicle Sensors Integrated Vehicular Positioning System // <http://www.geomatics.ucalgary.ca/research/publications/GradTheses.html> // 2007.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ СКАНИРУЮЩЕГО ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ МЕТОДОМ ЗАДЕРЖАННЫХ ДИАГРАММ НА НАЗЕМНОЙ ТРАССЕ

А.Е. Кучумов, студент 4-го курса

*Научный руководитель А.А. Мецзяков, к.т.н., с.н.с. НИИ РТС
г. Томск, ТУСУР, каф. РТС, alkuchumov@mail.ru*

Известно, что для определения местоположения источников радиоизлучения (ИРИ) могут использоваться разностно-дальномерные и угломерные системы. Для этого используют принцип разнесенного приема [1], реализуемый путем создания многопунктной системы, в состав которой входят центральный пункт приема и обработки и периферийные приемные пункты. В результате кругового сканирования антенны ИРИ, приводящего к одновременному облучению разнесенных приемных пунктов, применение разностно-дальномерных и угломерных методов позиционирования чаще всего ограничено.

В данной работе экспериментально проверен метод, описанный в [2] и основанный на расчете координат источника излучения со сканирующей в азимутальной плоскости антенной путем вычисления точки пересечения двух линий положения (окружностей), которые строятся на основании данных о времени запаздывания максимума принятого сигнала в разнесенных пунктах приема.

Экспериментальные исследования проводились в натуральных условиях на территории Томской области в трехсантиметровом диапазоне волн при наличии естественных особенностей рельефа и растительно-

сти на трассе. Карта-схема района экспериментальных исследований представлена на рис. 1.

Комплекс аппаратуры состоял из ИРИ (импульсной РЛС трехсантиметрового диапазона типа РПК-1) и трех измерительных установок. Каждая из измерительных установок содержала приемное устройство и устройство синхронизации и передачи данных. Центральный измерительный пункт (ЦП) содержал управляющую ЭВМ типа IBM PC, которая задавала программу работы периферийных пунктов (ПП) и осуществляла сбор и запись данных со всех измерительных пунктов. Структурная схема комплекса с параметрами, поясняющими реализацию исследуемого метода, приведена на рис. 2.

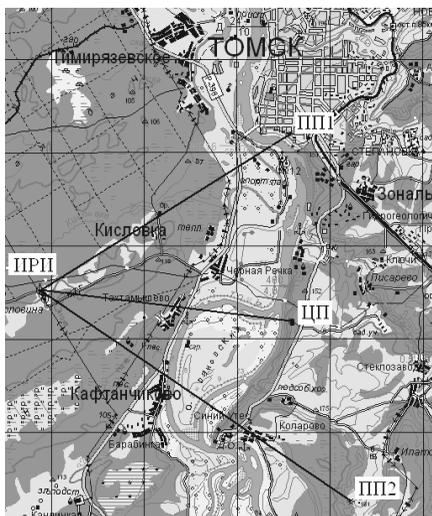


Рис. 1. Карта-схема района экспериментальных исследований

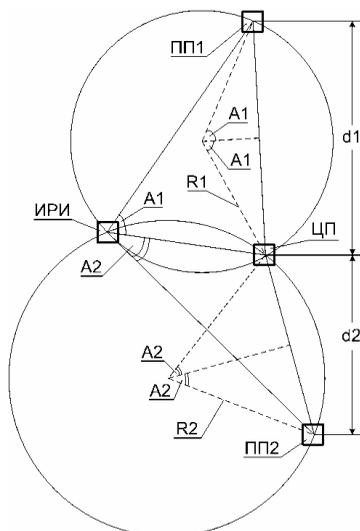


Рис. 2. Структурная схема комплекса с параметрами, поясняющими реализацию исследуемого метода

Случайный характер распределения переотражателей на подстилающей поверхности, их размеров и отражающих характеристик делает случайным результат интерференции в точке приема.

На рис. 3 показаны три «мгновенные» диаграммы направленности одного и того же источника за один оборот его антенны, измеренные одновременно (точнее – последовательно) в трех приемных пунктах. Для определенности отчет угла отворота антенны источника ведется от положения, соответствующего максимуму принятого центральным пунктом сигнала (0 на горизонтальной оси графика).

Если допустить, что максимальный сигнал принимается при точном направлении оптической оси антенны источника на приемный пункт, то разность отсчетов положения максимумов боковых диаграмм будет соответствовать угловому расстоянию Δ между крайними приемными пунктами, измеренному из точки расположения источника, другими словами – угловому размеру базы, образованной парой пунктов приема.

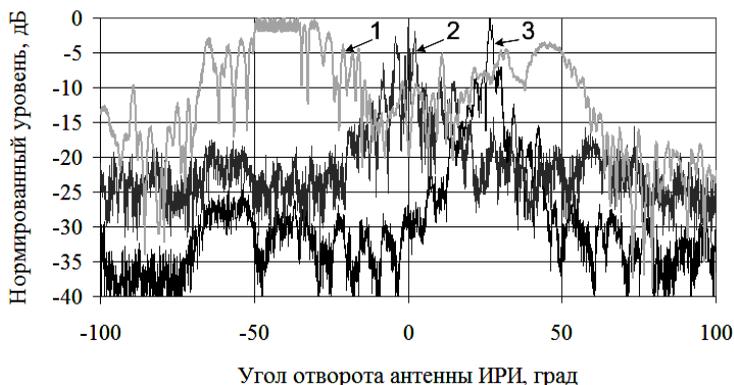


Рис. 3. «Мгновенные» диаграммы направленности ИРИ за один оборот его антенны в приемных измерительных пунктах (1 – в ПП1, 2 – в ЦП, 3 – в ПП2)

Данные об угловом размере базы, образованной парой пунктов приема, и известные координаты пунктов приема и являются исходными данными для вычисления координат ИРИ исследуемым методом.

Как видно из рис. 3, на диаграмме зачастую трудно выявить максимум, а если он и выражен, то, как правило, смещен относительно плоскости большого круга из-за влияния переотражений и их флуктуаций. Поэтому оценка углового размера баз является случайной величиной.

Оценка углового размера баз и последующий расчет координат ИРИ проводились двумя способами. При первом способе размер базы рассчитывался по положению максимумов «мгновенных» диаграмм направленности, при втором – по положению максимума функции, аппроксимирующей главный лепесток измеренной «мгновенной» диаграммы направленности в пунктах приема. Для обработки использовано 10 сеансов (10 оборотов антенны ИРИ).

В табл. 1 приведены средние значения и СКО угловых размеров баз, полученных двумя способами. Рассчитанные по этим данным смещения координат ИРИ относительно истинных приведены в табл. 2.

Таблица 1

Значения углового размера баз и их СКО

Способ измерения	Среднее знач. A1, град	СКО A1	Среднее знач. A2, град	СКО A2
Макс. ДН	27,15	0,79	42,36	1,01
Макс. аппр. функции	27,06	0,80	42,96	1,79

Таблица 2

Смещения координат ИРИ относительно истинных

Способ измерения	Смещение по коорд. X, м	Смещение по коорд. Y, м
Макс. ДН	942,6	418,8
Макс. аппр. функции	1060,7	503,3

Анализ представленных результатов проведенных экспериментальных измерений приводит к следующим выводам:

1. Точность оценки координат ИРИ исследуемым методом существенно зависит даже от небольших изменений углового размера баз.
2. Оценка углового размера баз при использовании двух способов оказывается примерно одинаковой.
3. Смещение оценки координат для данного месторасположения ИРИ на пересеченной местности составило по оси X от 900 до 1100 м, по оси Y – 400 до 510 м.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьев В.С., Котов А.Ф., Марков Л.Н. Многопозиционные радиотехнические системы. М.: Радио и связь, 1986.
2. Dadds A.F. A Method of and system for locating an object. Патент GB 2214025A, 1989.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ВЧ-ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЕЗНОЙ
НАГРУЗКИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СПУТНИКОВ**

*А.Г. Логвинов, А.В. Капелько, Д.А. Зедин – инженеры лаб. 125
г. Железногорск, ОАО «ИСС», lag@iss-reshetnev.ru*

Одним из важных и длительных этапов наземной экспериментальной отработки связных спутников (КА) является этап наземных испытаний, в том числе измерение ВЧ-характеристик бортовых ретрансляционных комплексов (БРТК).

БРТК современных КА являются многоствольными подсистемами. Кроме этого, наблюдаются тенденции к увеличению общего количества стволов в перспективных КА. В настоящее время измерение ВЧ

характеристик БРТК выполняется постволново, это влечет за собой увеличение времени испытаний БРТК, а значит, и увеличение сроков изготовления современных КА.

Существующие методы измерения частотных характеристик стволов (АЧХ, ГВЗ) основаны на использовании узкополосных сигналов в качестве тестовых.

Измерения проводятся пошагово на дискретных частотах в полосе каждого ствола. В результате по полученной выборке измерений строятся частотные характеристики стволов.

В решении задачи повышения экономической эффективности создаваемых КА, посредством сокращения времени испытаний БРТК, важную роль играет совершенствование методов измерения ВЧ-характеристик. Предлагаемым перспективным методом измерения частотных характеристик является метод с использованием широкополосного тестового сигнала прямоугольной формы. Применение этого метода позволит проводить измерения ряда частотных характеристик (АЧХ, ГВЗ) БРТК одновременно для всех стволов одного частотного диапазона, в результате чего ожидается существенное уменьшение времени испытаний БРТК.

В качестве такого тестового сигнала выбран сверхкороткий прямоугольный импульс с широкой спектральной плотностью. На рис. 1 приведены амплитудные спектры тестовых импульсов разной длительности и полосы частот (L , C , Ku и Ka – частотные диапазоны), выделенные для спутниковых систем связи по линии «вверх» [1].

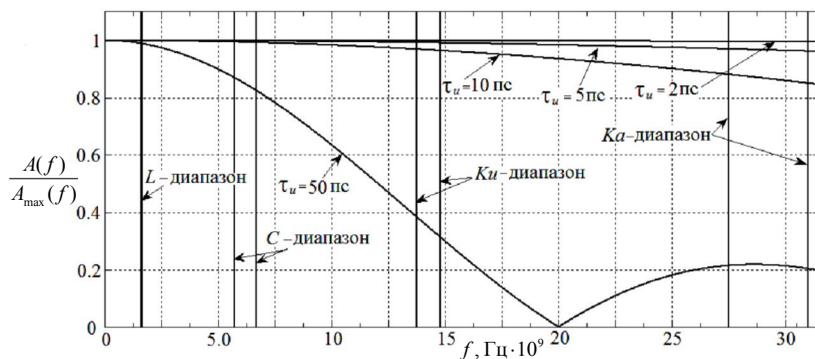


Рис. 1. Амплитудные спектры разных тестирующих импульсов и частотные диапазоны

Поскольку амплитуда спектра используемого сверхкороткого импульса не постоянна во всем частотном диапазоне (рис. 1), то в результате измерений появится систематическая погрешность определения частотных характеристик стволов БРТК.

Чтобы найти систематическую погрешность, нужно определить изменение амплитуды спектра сверхкороткого импульса на крайних частотах каждого измеряемого диапазона.

Результаты определения погрешностей приведены в таблице.

**Погрешность в каждом диапазоне
при разной длительности импульса**

Диапазон	Погрешность, %			
	2 пс	5 пс	10 пс	50 пс
<i>L</i>	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$88 \cdot 10^{-3}$
<i>C</i>	$6 \cdot 10^{-3}$	$47 \cdot 10^{-3}$	0,197	5,19
<i>Ku</i>	0,014	0,118	0,493	18,54
<i>Ka</i>	0,1	0,817	3,47	–

Из таблицы видно, что импульс длительностью 10 пс дает возможность реализовать широкополосное измерение частотных характеристик БРТК с достаточно высокой точностью. Значение систематической погрешности учитывается в алгоритме вычисления ВЧ-характеристики БРТК.

Для исследования возможности применения сверхкороткого импульса в широкополосных измерениях создана модель многоступенчатого БРТК, имитирующая прохождение ВЧ-сигналов через стволы. Модель создана в САПРе Matlab R2007a.

Модель приведена на рис. 2. Состав модели:

- два ствола *C*-диапазона;
- генератор сверхкороткого импульса (*Test generator*), длительность импульса 10 пс;
- блок сбора данных (*To workspace*), регистрирующий отклик РТР.

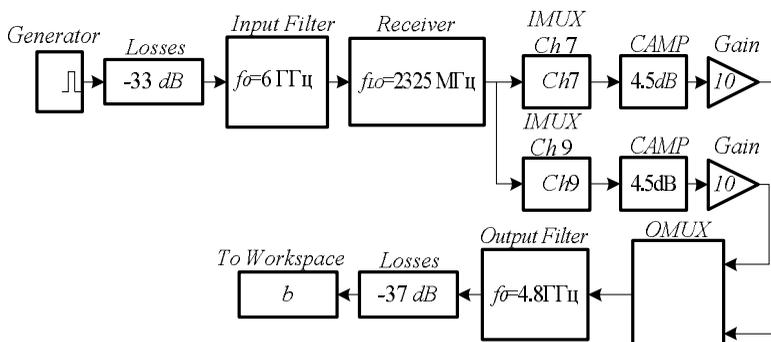


Рис. 2. Модель для измерений частотных характеристик БРТК

Высокочастотные параметры элементов (АЧХ, коэффициент усиления и т.д.), применяемых в модели БРТК, соответствуют параметрам БРТК КА «Экспресс-АМ33».

Отклик модели БРТК на воздействие сверхкороткого импульса и АЧХ модели БРТК приведены на рис. 3. ФЧХ и ГВЗ модели БРТК, полученные в результате обработки отклика, приведены на рис. 4.

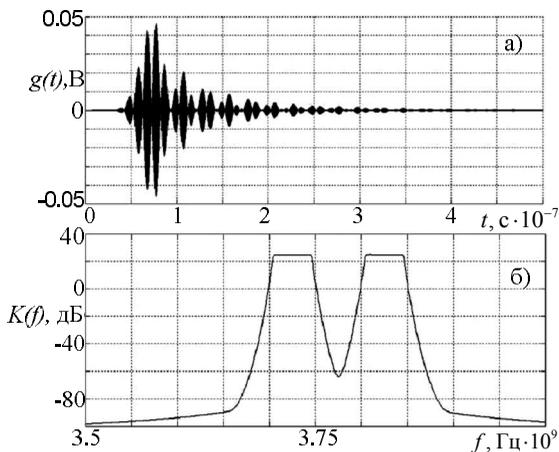


Рис. 3. Отклик модели на воздействие сверхкороткого импульса – а;
АЧХ модели – б

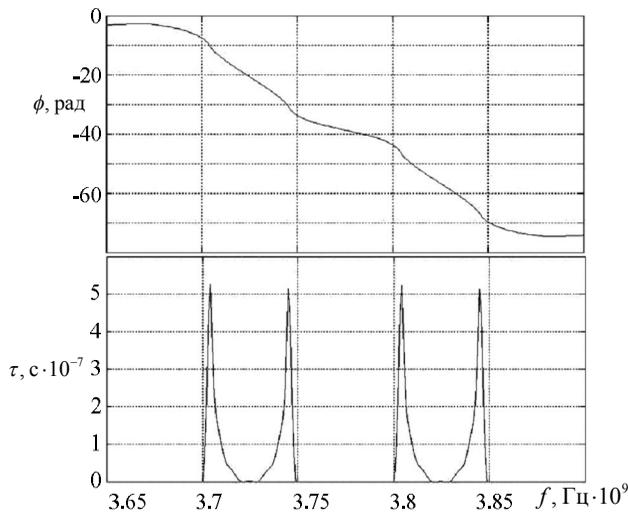


Рис. 4. ФЧХ и ГВЗ модели БРТК

Проведенный анализ рынка измерительной техники показал, что в настоящее время технические характеристики генераторов сверхкоротких импульсов и сверхширокополосного приемного устройства позволяют реализовать предложенный метод измерения характеристик БРТК. Существующие генераторы позволяют формировать импульсы с длительностями до 10 пс [2–4].

Ожидаемые систематические погрешности предложенного метода измерений пренебрежимо малы и могут быть исключены из результатов измерения корректирующими алгоритмами.

Результаты проведенных исследований показывают возможность практического применения сверхкоротких импульсов для проведения измерений частотных характеристик стволов ретранслятора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кантор Л.Я. Спутниковая связь и вещание: Справочник. 3-е изд. М.: РИС, 1997. 528 с.
2. Генераторы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.elvo-connection.ru/index.php?look=1134762891>, свободный.
3. Генераторы [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.trimcom.ru/index.php?level=russian_nextchild_of_1177748805&time=1177749180, свободный.
4. Генераторы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mprofit.ru/catalog161.htm>, свободный.

ИНВЕРСНЫЙ МЕТОД ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ОШИБОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ НАЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ В ПАССИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ РАДИОМОНИТОРИНГА

М.В. Миронов, магистрант 2-го года

*Научный руководитель Г.С. Шарыгин, зав. каф. РТС, проф., д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. РТС, miroнов.mikhail.v@gmail.com*

В настоящее время ведется разработка перспективной пассивной системы мониторинга наземных источников излучения в широкой полосе частот. Предложена структура построения системы, включающая два эшелона космических аппаратов (КА): КА эшелона А расположены на низковысотных орбитах высотой 1500 км, КА эшелона Б – на средневысотных высотой 10000 км соответственно [1].

Рассматриваются два основных этапа мониторинга. На первом этапе спутниками эшелона Б производится общий обзор зоны мониторинга, обнаружение источника радиоизлучения (ИРИ), определение

частоты, вида модуляции и поляризации, идентификация и селекция ИРИ. Результатом первого этапа мониторинга являются выбор ИРИ для дальнейшего анализа, а также выдача целеуказания КА эшелона А для регистрации сигналов конкретного источника в узкой полосе. На втором этапе КА эшелона А регистрируют сигналы выбранных ИРИ, затем производится определение их координат и параметров движения.

Определение координат источников сигнала осуществляется разностно-дальномерным методом [2], который основывается на измерении разности дальностей от ИРИ до нескольких КА. Для определения разности дальностей необходимо получить оценку разности моментов прихода сигнала в несколько пространственно разнесенных приемных пунктов, расположенных на космических аппаратах. Оценить разность моментов прихода можно разными методами: корреляционным [3], пороговым [4].

Корреляционный метод позволяет определить взаимную задержку сигналов (как непрерывных, так и импульсных) неизвестной структуры. Вычисление корреляционного интеграла является оптимальной процедурой оценки параметров сигналов, принимаемых на фоне стационарного гауссовского шума. Пороговый метод используется преимущественно при обработке импульсных сигналов и позволяет оценить момент прихода в один пункт с привязкой к бортовой шкале времени.

Точность каждого метода оценки момента прихода сигнала определяется каналом распространения радиоволн. Модель канала принимается однолучевой в случае распространения сигнала по трассе «Земля – космос» под большими углами к горизонту. Трассы, для которых отраженные сигналы практически отсутствуют, характерны для систем спутниковой связи (ССС). Многолучевой случай имеет место при отражениях и переотражениях излучаемого сигнала местными предметами (лес, здания, возвышения рельефа и т.д.). Такая ситуация характерна при работе сканирующих радиолокационных станций (РЛС), релейных станций передачи информации, базовых станций сотовой связи и других наземных источников излучения.

Примем, что при многолучевом характере распространения сигнала, принимаемый на космическом аппарате, является аддитивной смесью прямого сигнала источника излучения и совокупностью сигналов, однократно отраженных от местных предметов. Случай многократного переотражения рассматривать не будем в связи с большим затуханием. Диаграмма направленности (ДН) антенны наземных источников направлена вдоль поверхности Земли или под малыми углами возвышения к горизонту. В таком случае прямой сигнал источника излучается в направлении на космический аппарат по боковому лепестку ДН с соответствующим ослаблением. Сигнал, излучаемый по

главному лепестку ДН, отражается от местности и в точке расположения приемника складывается с прямым сигналом. Так как расстояние от ИРИ до местных предметов много меньше расстояния до КА (т.е. прямой и отраженные сигналы не разрешаются по времени) и уровни этих сигналов примерно одинаковые, то происходит искажение формы принимаемого сигнала, которое приводит к ошибке оценки момента прихода и, соответственно, к ошибке определения координат ИРИ. Для оценки величины ошибки, вызванной отражениями, предлагается провести экспериментальное исследование.

Поскольку провести натуральный эксперимент не представляется возможным, возникает идея проведения эксперимента инверсным способом, суть которого заключается в следующем: источник излучения находится на космическом аппарате, а несколько приемных пунктов разнесены на земной поверхности, образуя разностно-дальномерную систему. Регистрация сигнала происходит в наземных приемных пунктах, а затем производится оценка координат КА, сигнал которого был зарегистрирован. Существует несколько бесплатных приложений, которые позволяют определить координаты и параметры движения всех аппаратов на околоземных орбитах. Таким образом, зная реальные координаты КА на момент регистрации сигнала и вычисленные по разработанному алгоритму, мы сможем оценить ошибку определения координат.

При таком подходе к проведению эксперимента сохраняется эффект движения космических аппаратов как основной принцип мониторинга и наблюдаемые в наземных приемных пунктах явления близки по природе к условиям функционирования космической системы мониторинга (скорость перемещения, дальность приема, воздействие тропосферы на сигнал и т.д.). Также необходимо обеспечить круговое вращение антенны приемного пункта, которое имитирует сканирующий режим работы РЛС, тем самым обеспечивая прием сигналов, отраженных от местных предметов.

Предложен инверсный способ проведения эксперимента по исследованию ошибок определения координат источников излучения в космических пассивных системах радиомониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Миронов М.В.* Структура космической пассивной системы мониторинга наземных источников радиоизлучения / М.В. Миронов, А.А. Будаев // Матер. науч.-техн. конф. молодых специалистов ОАО «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнева «Разработка, производство, испытания и эксплуатация космических аппаратов и систем», посвященной 50-летию полета в космос Ю.А. Гагарина (Железногорск). Железногорск: Изд. дом «Класс Плюс», 2011. С. 30–32.

2. *Ворошилин Е.П.* Определение координат источников радиоизлучения разностно-дальномерным методом с использованием группировки низкоорбитальных малых космических аппаратов / Е.П. Ворошилин, М.В. Миронов, В.А. Громов // Докл. Том. гос. университета систем управления и радиоэлектроники. Томск: В-Спектр, 2010. № 1(21), ч. 2. С. 23–28.

3. *Левин Б.Р.* Теоретические основы статистической радиотехники. 3-е изд. перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1989. 656 с.

4. *Амиантов И.Н.* Избранные вопросы статистической теории связи. М.: Сов. радио, 1971. 416 с.

КОНФОРМНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ КАК СПОСОБ УЧЁТА НЕРОВНОСТЕЙ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ РАДИОВОЛН

А.В. Новиков, ассистент

*Научный руководитель Ю.П. Акулиничев, проф. каф. РТС, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. РТС, ANovikov@ms.tusur.ru*

В данной работе будем рассматривать двумерный случай, т.к. не существует конформного преобразования для 3D-областей.

В связи с широким развитием средств радиосвязи имеется потребность в программных продуктах, позволяющих оценивать зоны радиопокрытия для конкретно заданных условий. Качество приёма определяется, помимо энергетики системы, отражательными свойствами подстилающей поверхности и её рельефом. Для расчёта функции ослабления широко используется параболическое волновое уравнение (ПВУ), которое было получено для расчёта связанных систем [2].

В случае сферической полупроводящей Земли имеется аналитическое решение ПВУ [2], на этапе получения которого можно использовать конформное преобразование типа $\ln(z)$, которое отображает кольцо в прямоугольник, что сводит исходную задачу к плоской с приведённым индексом преломления. Чтобы учесть произвольный профиль подстилающей поверхности, необходимо отыскать подходящее для численных расчётов конформное преобразование. В этом и состоит основная суть данной работы. Помимо метода конформного преобразования, существуют и другие способы учёта рельефа поверхности, а именно: методы пошагового преобразования системы координат («Shift map»), основанные на линейно-ломаной аппроксимации профиля рельефа [1]; методы ступенчатой аппроксимации профиля рельефа [1]. Однако эти методы предполагают негладкую аппроксимацию профиля рельефа, что приводит к артефактам при расчётах, и к тому же, ПВУ справедливо лишь для тел, радиус кривизны которых много больше длины волны [2].

Таким образом, стоит задача отыскать конформное преобразование для профиля рельефа подстилающей поверхности, заданного в виде набора отсчётов.

Преобразование $f(z)$ конформно, если справедливо уравнение

$$\partial^2 f / \partial x^2 + \partial^2 f / \partial y^2 = 0, \quad z = x + iy, \quad i = \sqrt{-1}. \quad (1)$$

Уравнение (1) позволяет от уравнения Гельмгольца в координатах (x, y) перейти к эквивалентному уравнению в координатах (u, v) с приведённой диэлектрической проницаемостью. Достоинства такого перехода: уравнение сохраняет свою структуру, поэтому можно применять отработанные численные методы для его решения; вид граничного условия у поверхности не изменяется благодаря ортогональности конформного преобразования. Недостаток один: сравнительно большие затраты времени при численном расчёте якобиана преобразования (для рельефа, близкого к синусоидальному, это не относится).

Исходная формула в данной работе – это конформное преобразование $f(z)$, основанное на экспоненциальных функциях:

$$f(z) = z + \sum_{n=1}^N f_n(z) = u(x, y) + iv(x, y), \quad (2)$$

где $f_n(z) = -ia_n \exp(iK_n z)$, $K_n = 2\pi n / D$, D – длина трассы (дальность); D / n – пространственный период (вдоль оси Ox) функции $f_n(z)$.

Количество слагаемых N и весовые коэффициенты $a_n = A_n \exp(i\varphi_n)$ в (2) подбираются так, чтобы кривая $y(x)$ при $v = 0$ с необходимой точностью совпадала с заданным профилем рельефа $g(x)$. Для малуюглового случая, т.е. когда справедливо неравенство

$$|dy/dx|_{\max} = t/(1-t) \ll 1, \quad t = \sum_n A_n K_n, \quad \text{при } v = 0, \quad (3)$$

коэффициенты находятся с помощью разложения функции $g(x)$ в ряд Фурье. Якобиан преобразования (2) при выполнении условия (3) находится как

$$J(x, y) \approx 1 + 2 \sum_{n=1}^N A_n K_n \exp(-K_n y) \cos(K_n x + \varphi_n) \quad (4)$$

с ошибкой порядка $2t^2 \ll 1$.

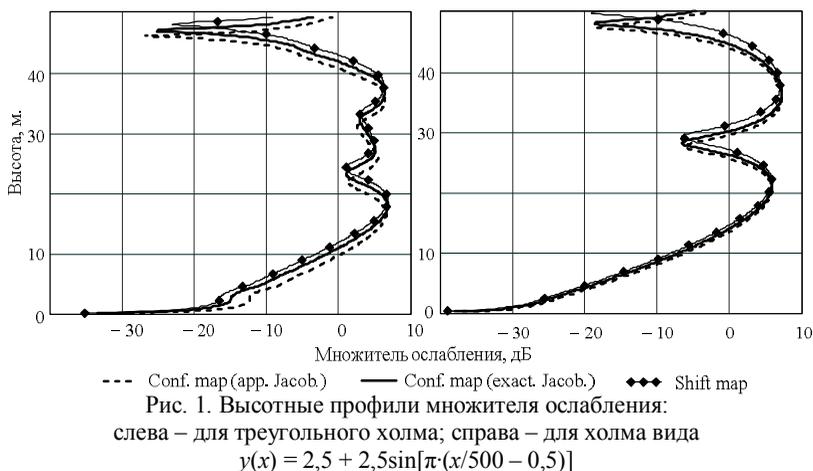
ПВУ в новой, прямоугольной, системе координат будет иметь вид

$$2ik \partial U / \partial u + \partial^2 U / \partial v^2 + k^2 (\varepsilon(u, v) / J(u, v) - 1) U = 0. \quad (5)$$

Результаты сравнительного расчёта высотного профиля множителя ослабления для двух трасс (треугольный и синусоидальный холмы) показаны на рис. 1. Здесь «Conf. тар» означает метод конформного преобразования, «arr. Jacob.» – использовалось приближённое вычисление якобиана J по (4), а «exact. Jacob.» – точное выражение для J ;

«Shift map» – метод пошагового преобразования системы координат с кусочно-линейной аппроксимацией профиля рельефа. Длина волны – 10 см, высота антенны излучателя – 2 м, диаграмма направленности – гауссовская, шириной 16° (имитация всенаправленности для высот 0...150 м), дальность расчёта – 1 км, высота расчёта – 150 м. Треугольник высотой 5 м и с основанием в 640 м расположен по центру трассы. Поляризация горизонтальная, коэффициент отражения – всюду минус 1 («зеркало»). Число гармоник для аппроксимации **треугольного** рельефа – 64 (СКО ошибки – порядка 2–3 см). Расчёт вёлся по схеме Кранка–Николсон с шагом сетки 8,8 см по высоте и 21,5 см по дальности (1710×4640 отсчётов). Эквивалентная диэлектрическая проницаемость ϵ / J учитывалась с помощью приближённого расщепления неоднородного ПВУ (5) на однородное с отдельным учётом множителя рефракции («split-step» методика [1]).

Две трассы выбирались с одинаковой максимальной крутизной (около $0,9^\circ$). Различия в профилях поля (см. рис. 1) между точным и приближённым вычислениями якобиана менее заметны для синусоидальной поверхности, для которой малый параметр t равен 0,016 против 0,05 для треугольной трассы.



Время расчёта для всех кривых на рис. 1 приведено в таблице.

Время расчёта профилей множителя ослабления, с

	Exact. Jacob.	App. Jacob.	Shift map
Трасса «Sin»	4	3	2
Трасса «Triangle»	51	36	1

Также при аппроксимации синусоидального профиля рельефа бралось всего два члена ряда против 64, что позволило сократить время расчёта в 10 раз (см. таблицу). Различия трёх кривых для двух трасс на рис. 1 не превышают 2 дБ в области полутени (менее 20 м по высоте). Результаты расчёта показывают, что метод «Shift map» более предпочтителен для изломанных поверхностей, а метод конформного преобразования – для гладких, требующих небольшого числа гармоник ряда Фурье. Достоинством последнего метода является возможность сравнения влияния неровностей рельефа и неоднородностей атмосферы на уровень поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Mireille Levy*. Parabolic equation methods for electromagnetic wave propagation. The Institution of Electrical Engineers. London, United Kingdom, 2000. 336 p.
2. *Фок В.А.* Проблемы дифракции и распространения радиоволн. М.: Сов. радио, 1970. 520 с.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕРОВНОСТЕЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ТРОПОСФЕРЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ УКВ-ДИАПАЗОНА

А.В. Новиков, ассистент

*Научный руководитель Ю.П. Акулиничев, проф. каф. РТС, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. РТС, ANovikov@ms.tusur.ru*

Тема данной статьи является логическим продолжением предыдущей работы [1]. Необходимость сравнения влияния неоднородностей тропосферы и земной поверхности на характеристики поля вытекает из-за существенных различий в степени знания рельефа местности и состояния тропосферы [2]. Рельеф определяется по электронным картам и остаётся относительно неизменным (требуются столетия на естественное изменение), а состояние тропосферы меняется, по крайней мере, каждые три часа [2] и нет практической возможности измерить его по всей трассе распространения радиоволн (РРВ). Поэтому если окажется, что неровности рельефа оказывают большее влияние, чем неоднородности тропосферы (по крайней мере, для небольших – десятки километров – расстояний), то будет обоснованной необходимость учёта только одного среднестатистического профиля [2] показателя преломления тропосферы.

Конформное преобразование, введённое в [1], позволяет пересчитать неровности земной поверхности в неоднородности эквивалентного показателя преломления. Ограничение предложенного способа – малость углов наклона земной поверхности, так чтобы тангенс угла наклона (малый параметр задачи) был много меньше единицы.

Величина, обратная якобиану преобразования J в [1], есть эквивалентная диэлектрическая проницаемость среды РРВ. Перейдём от поля проницаемости $\varepsilon(x, y)$ к полю индекса преломления $N(x, y)$

$$\varepsilon(x, y) = n^2(x, y) = \left(1 + N(x, y) \cdot 10^{-6}\right)^2. \quad (1)$$

Подставим в выражение (1) J – приближённое (малоугловое) выражение для якобиана из [1]:

$$1: \left(1 + 2 \sum_{n=1}^N A_n K_n \exp(-K_n y) \cos(K_n x + \varphi_n)\right). \quad (2)$$

Числа A_n (модуль амплитуды гармоник Фурье) и K_n (пространственная частота) есть действительные неотрицательные, поэтому максимум величины (2) будет при $y = 0$. Таак как мы ограничились малоугловым случаем, возьмём только линейный член при разложении дроби (2) в ряд Тейлора. Также ограничимся эквивалентным N не более 10^5 . Из дальнейшего моделирования будет видно, что этого достаточно. Поэтому эквивалентный N будет равен

$$N(x, 0) = -10^6 \sum_{n=1}^N A_n K_n \cos(K_n x + \varphi_n), \text{ N-ед.} \quad (3)$$

Среднее значение N по переменной x (горизонтальная дальность) равно нулю, а СКО определяется равенством

$$\sigma_N = \left(10^6 \pi \sqrt{2}/D\right) \sqrt{\sum_n n^2 A_n^2}. \quad (4)$$

Задавая в качестве модели высот земной поверхности вектор \mathbf{g} как случайный нормальный процесс с экспоненциальной корреляционной функцией

$$R(x) = \sigma_h \exp(-|x| / \tau_x),$$

и рассчитывая по [1] коэффициенты A_n , будем иметь статистику величины СКО эквивалентного индекса преломления. Параметрами вектора \mathbf{g} являются СКО высот σ_h и интервал корреляции τ_x высот по дальности x . Результаты статистического моделирования приведены на рис. 1. На графике рис. 1 интервал корреляции τ_x нормирован относительно дальности D . При моделировании дальность составляла 1024 м (1024 отсчёта). В качестве способа генерации случайного процесса с заданной корреляционной характеристикой был выбран метод формирующего фильтра. Величина σ_N оценивалась как среднее значение при

десяти случайных реализациях неровностей земной поверхности при фиксированных параметрах τ_x и σ_h . Вектор σ_h равен (0,01; 0,03; 0,05; 0,1; 0,3; 0,5) м.

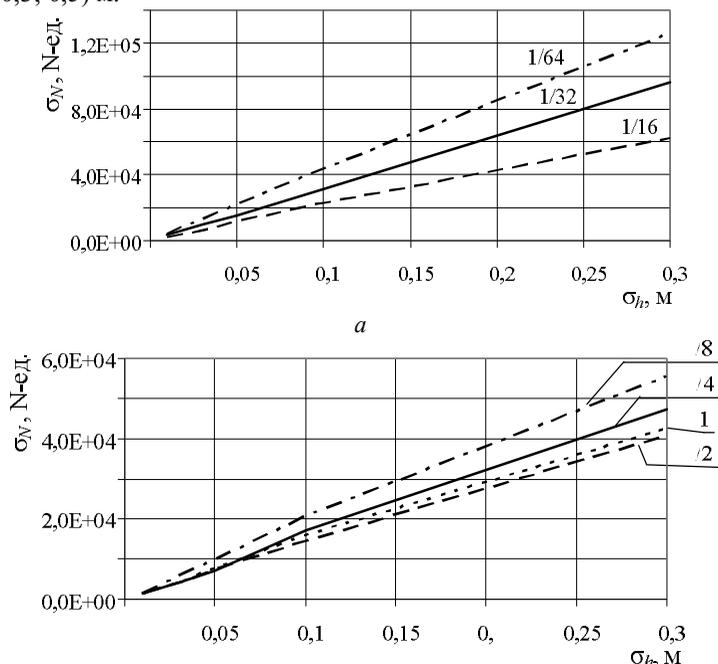


Рис. 1. Зависимость СКО эквивалентного индекса преломления от СКО высот земной поверхности для разных значений интервала корреляции: a – для интервалов корреляции τ_x / D , равных 1/64, 1/32 и 1/16; b – для интервалов корреляции τ_x / D , равных 1/8, 1/4, 1/2 и 1

Заключение. Типовое значение СКО индекса преломления для приземного слоя тропосферы 0–200 м составляет 10 N-ед. Из рис. 1 следует, что степень влияния неровностей земной поверхности превосходит степень влияния неоднородностей тропосферы (как минимум в 100 раз по индексу преломления) при СКО высот земной поверхности более 0,01 м для интервалов корреляции высот, не превышающих дальность D .

Влияние интервала корреляции высот земной поверхности на эквивалентное значение индекса преломления сильнее сказывается при больших значениях СКО высот (рис. 1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков А.В. Модель пространственно-временного поля индекса преломления приземного слоя атмосферы / А.В. Новиков, Ю.П. Акулиничев //

Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2010. № 1 (21), ч. 2. С. 36–44.

2. Бакалов В.П. Цифровое моделирование случайных процессов. М.: Изд-во МАИ, 2001. 84 с.

ЗАДАЧА КАЛИБРОВКИ БЕСПЛАТФОРМЕННЫХ ДАТЧИКОВ УСКОРЕНИЯ И УГЛОВОЙ СКОРОСТИ В КОМПЛЕКСИРОВАННЫХ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

В.В. Шаврин, магистрант

Научный руководитель В.И. Тисленко, проф., д.т.н.

Научный консультант А.А. Савин, доц., к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, РТФ, каф. РТС, svv281088@sibmail.com

Комплексированные навигационные системы (КНС) в составе инерциальных навигационных систем (ИНС) и спутниковых радионавигационных систем (СРНС) имеют ряд преимуществ и широко используются в условиях наличия прерываний в поступлении радиосигналов или их неудовлетворительного качества. Использование современных микропроцессорных устройств обработки сигналов и сравнительно низкая стоимость бесплатформенных ИНС обеспечивают высокую конкурентоспособность КНС на основе БИНС в условиях их применения для решения задач навигации, когда системы GPS или ГЛОНАСС не работоспособны.

В работе рассматриваются два существующих способа совместной обработки данных в КНС, обеспечивающих поддержание высокой точности решения навигационной задачи при отсутствии радиосигналов от СРНС: метод интегрирования со слабой и сильной связью [1]. В обоих методах для вычисления навигационных параметров используется алгоритм фильтра Калмана (КФ).

В обоих методах наблюдаемые с выхода датчиков БИНС сигналы $\mathbf{s}_f(t)$, $\mathbf{s}_\omega(t)$ соответственно трех компонентных векторов линейного ускорения $\mathbf{f}(t)$ и угловой скорости $\boldsymbol{\omega}(t)$ поступают в блок решения навигационных уравнений. Адекватность математических моделей этих векторных сигналов оказывает существенное влияние на погрешность оценок координат. В упрощенной форме [2] имеют вид

$$\mathbf{s}_\omega(t) = \boldsymbol{\omega}(t) + \mathbf{b}_\omega + \mathbf{S}\boldsymbol{\omega} + \mathbf{N}\boldsymbol{\omega} + \boldsymbol{\varepsilon}_\omega(t), \quad (1)$$

$$\mathbf{s}_f(t) = \mathbf{f}(t) + \mathbf{b}_f + \mathbf{S}_1\mathbf{f} + \mathbf{S}_2\mathbf{f}^2 + \mathbf{N}\mathbf{f} + \boldsymbol{\delta}\mathbf{g} + \boldsymbol{\varepsilon}_f(t), \quad (2)$$

где \mathbf{b}_ω , \mathbf{b}_f – векторы систематических погрешностей; $\mathbf{S}, \mathbf{S}_1, \mathbf{S}_2$ – матрицы масштабных коэффициентов; \mathbf{N} – матрица неортогональности осей гироскопов и акселерометров; $\boldsymbol{\varepsilon}_\omega(t)$ и $\boldsymbol{\varepsilon}_f(t)$ – шумы преобразователей; $\boldsymbol{\delta}\mathbf{g}$ – вектор погрешностей в составляющих гравитационного ускорения. Задача калибровки состоит в определении неизвестных параметров модели. Оценки параметров могут быть получены методом наименьших квадратов.

В работе обсуждаются несколько способов калибровки. В частности, модифицированный шестипозиционный метод (MSPM) [3], модифицированный многопозиционный метод (MMPM) [4]. Различие этих методов состоит в сложности их реализации. Для MSPM необходимо точное совмещение осей датчиков с осями локальной системы координат, в то время как в MMPM ориентация датчиков не играет роли, что упрощает всю процедуру. Это достигается за счет увеличения количества данных для осуществления калибровки.

Для реализации рассмотренных методов необходимо знание точной величины ускорения g и угловой скорости вращения Земли, так как данные величины выступают в роле эталонных; поворотной установки с точным выбором скоростей вращения, так как шумы на выходе преобразователей значительно больше опорного сигнала вращения Земли.

Проведенный сравнительный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. Существуют два наиболее распространенных метода комплексирования ИНС и СРНС. Способ интегрирования с сильной связью является предпочтительным, так как, несмотря на увеличение размерности в векторы состояния в КФ за счет введения дополнительной информации [1], он позволяет получать обновления координат для ИНС при меньшем числе видимых спутников.

2. Процедура калибровки сложна в реализации для всех упомянутых методов, но является необходимой при каждом новом сеансе навигации для повышения точности решения навигационной задачи. Для MMPM реализуется наиболее просто – не требует сложного вспомогательного оборудования, кроме поворотной установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Grewal M.S., Weill L.R., Andrews A.P. Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration. N.Y.: John Wiley and Sons Inc., 2001, USA.
2. Schwarz K.P. and Wei M. INS/GPS Integration for Geodetic Applications. Lecture Notes ENGO623, Department of Geomatics Engineering, Alberta: The University of Calgary, Canada, 2000.

3. *Shin E-H, El-Sheimy N.* A new calibration method for strapdown inertial navigation systems. *Zeitschrift für Vermessungswesen*. 2002.

4. *Syed Z.* Design and Implementation Issues of a Portable Navigation System. Department of Geomatics Engineering, Alberta: The University of Calgary, Canada, 2009.

ЛИДАРНАЯ СТАНЦИЯ СУРГУТСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

*А.М. Шиханцов, аспирант каф. экспериментальной физики
г. Сургут, СурГУ, samaiv@mail.ru*

В последнее время все больше внимания уделяется улучшению экологического состояния Земли путем мониторинга окружающей среды. Большая часть существующих ранее методик по изучению состава воздуха в том или ином промышленном районе была основана на традиционных контактных способах, имеющих ряд ограничений. К примеру, мониторинг загрязнения огромных пространств проводился только в приземном слое, было невозможно определить источники выброса вредных веществ в промышленном районе и т.д.

Решить задачу дистанционного обнаружения источников выбросов вредных веществ в атмосферу позволяют лидары. Для зондирования определенного атмосферного параметра используется конкретная схема лидара. Но в то же время можно выделить три основных общих блока:

1) лидарный передатчик, включающий лазерный источник с блоком контроля лазерного излучения и, в случае необходимости, линзовый или зеркальный телескоп для уменьшения расходимости лазерного излучения;

2) приёмный блок оптического лидарного сигнала на основе зеркального (реже линзового) телескопа с пространственным фильтром и с селективными анализаторами спектрального состава или поляризации лидарного сигнала;

3) фотоэлектронная система регистрации лидарного сигнала с компьютером для сбора, хранения и обработки лидарного сигнала, а также для контроля параметров лидара и управления его компонентами в автоматизированном режиме [1].

Лидарная сеть CIS-LiNet была основана научными группами из шести организаций Беларуси, России и Кыргызстана: Институт физики им. Б.И. Степанова, НАН Беларуси (ИФ), Институт оптики атмосферы СО РАН (ИОА), Институт прикладной геофизики им. академика

Е.К. Фёдорова, Сургутский государственный университет (СурГУ), Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДО РАН (ТОИ), Киргизско-Российский славянский университет (КРСУ) [2].

Лидар Сургутского государственного университета представляет собой смонтированные на единой платформе, обладающей возможностью вертикального и горизонтального сканирования, элементы передатчика и приёмника (рис. 1).

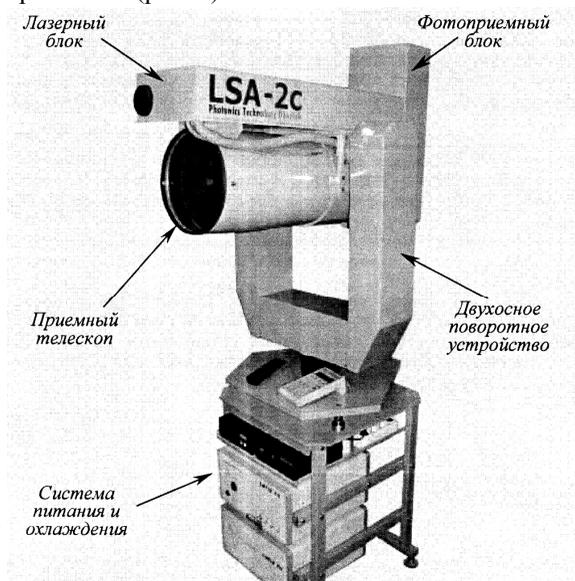


Рис. 1. Лидар СурГУ

Источником излучения является Nd:YAG лазер, одновременно генерирующий с частотой 20 Гц излучение на двух длинах волн 532 и 1064 нм при значениях энергии импульсов 25 и 50 мДж соответственно. Приём обратнорассеянного излучения осуществляется телескопом Кассегреновского типа с главным зеркалом диаметром 0,26 м. Затем излучение с помощью спектроразделительной пластины делится на два потока с длинами волн 532 и 1064 нм, которые направляются на ФЭУ-130 и лавинный фотодиод соответственно. Регистрация фотоэлектрического сигнала осуществляется в аналоговом режиме АЦП с разрядностью 12 бит и частотой стробирования 30 МГц.

Принцип действия лидара основан на измерении интенсивности рассеяния лазерного излучения аэрозолем атмосферы. Лидар посылает в атмосферу короткий импульс света и принимает обратно сигнал обратного рассеяния.

Рассеяние света в атмосфере происходит как молекулами воздуха (Релеевское рассеяние), так и частицами аэрозоля. Таким образом, наличие аэрозоля в атмосфере увеличивает сигнал обратного рассеяния по сравнению с чистой атмосферой, и концентрация аэрозоля может быть определена как функция расстояния и интенсивности сигнала на фоне чистой атмосферы.

Открытие лазера относится к числу самых выдающихся достижений XX в. Очень быстро уже с середины 60-х гг. лазер стал незаменимым инструментом в атмосферных исследованиях. А на рубеже 70-х и 80-х гг. он активно внедряется в рутинные исследования средней атмосферы, проводимые с помощью стационарных лидаров. Причём при существенном снижении активности ракетного зондирования в конце XX в. лидары фактически становятся единственными источниками информации о верхней стратосфере, в мезосфере и нижней термосфере, получаемой при дистанционном зондировании с поверхности Земли [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Зув В.В., Ельников А.В., Бурлаков В.Д. Лазерное зондирование средней атмосферы. Томск: ООО Изд-во «РАСКО», 2002. 352 с.
2. Чайковский А.П., Иванов А.П., Балин Ю.С., и др. Лидарная сеть CIS-LiNet для мониторинга аэрозоля и озона: методология и аппаратура // Оптика атмосферы и океана. 2005. №12. С. 1066–1072.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИГНАЛОВ РАДИОВЫСОТОМЕРОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА ЗАДЕРЖЕК КАНАЛА РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН

*В.А Симахин, студент 6-го курса ВиЗФ
г. Томск, ТУСУР, НИИ РТС, simsla@yandex.ru*

Важной характеристикой, оценки спектра задержек канала распространения радиоволн является функция рассеяния – зависимость мощности принимаемого сигнала от его задержки [1].

Основным способом получения энергетического спектра задержки является использование коротких импульсов. При сравнительно длинных импульсах применяются различного вида методы математической обработки, повышающие точность оценки спектра задержек [2].

В то же время применение сигналов, модулированных широкополосными шумоподобными или частотно-модулированными функциями, позволяют также получить функцию рассеяния с хорошим качеством.

Целью настоящей работы является предложить подход получения функции рассеяния, канала распространения радиоволн от радиовысотомера, установленных на самолетах, эти сигналы имеют девиацию частоты сигнала от 20 до 50 МГц и позволяют получить разрешающую способность до долей наносекунд.

Предлагается схема устройства для приема и обработки сигнала от радиовысотомера, представленная на рис. 1.

Краткое описание рис. 1:

ВЧ-головка разработана и изготовлена в ОАО «ЦКБА», г. Омск. Высоочастотная часть с антенными элементами и низкочастотная часть с системой регистрации разработаны в НИИ РТС ТУСУРа, имеет в своем составе полосовой фильтр, УВЧ, смеситель, фильтр НЧ, усилитель ПЧ, фильтр ВЧ, синтезаторы частоты сигнала калибровки и синтезатор частоты гетеродина (в интегральном исполнении).

Опорный генератор – Г4-81.

АЦП и плата сопряжения разработаны в НИИ РТС ТУСУР.

ЭВМ – пользовательский персональный компьютер.

Поскольку параметры сигнала, излучаемые радиовысотомером на воздушном судне, весьма стабильны и известны, можно путем мониторинга получить эти сигналы, занести в долговременную память, взять его за опорный и произвести умножение сигнала из памяти на принятый, тем самым получить корреляционную функцию сигнала.

После прохождения АЦП получается сигнал, внешний вид которого представлен рис. 2. Пример сигнала на выходе АЦП с частотой 250 МГц, девиацией 20 МГц.

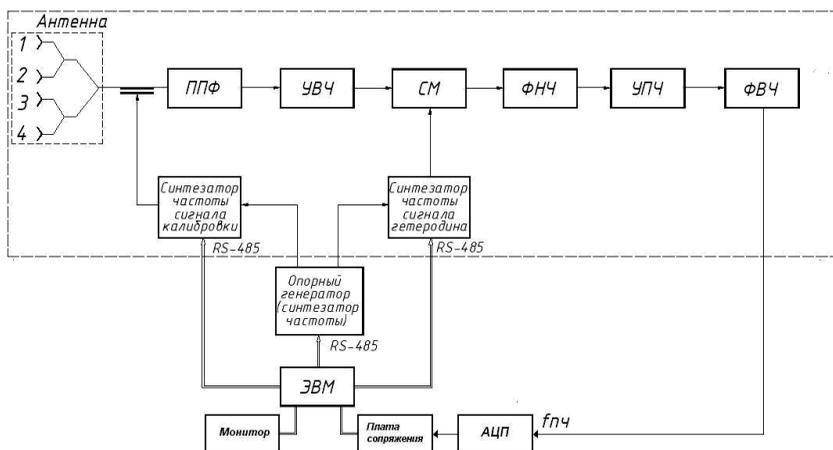


Рис. 1. Функциональная схема устройства обработки сигнала

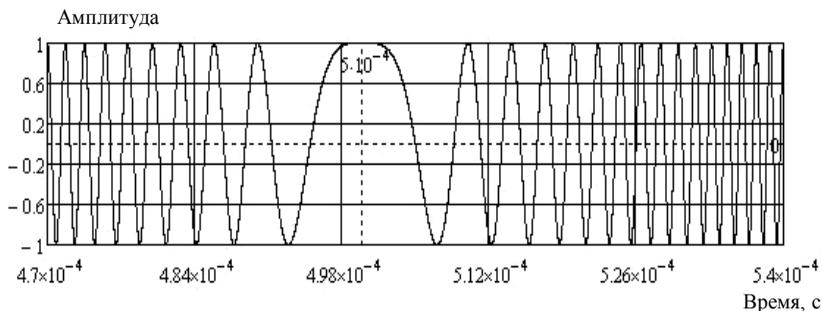


Рис. 2. Временное представление сигнала с линейной частотной модуляцией

Сигнал после корреляционной обработки в ЭВМ представлен на рис. 3.

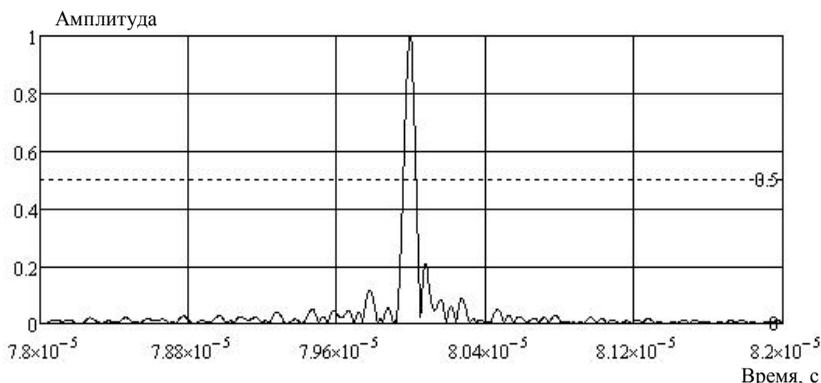


Рис. 3. Корреляционная функция сигнала

Вывод: таким образом, предложенная схема и алгоритмы обработки сигнала позволяют получить функции рассеяния с высокой точностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ворошилин Е.П., Лебедев В.Ю. Экспериментальная оценка импульсной реакции канала распространения радиоволн в сантиметровом диапазоне. Доклады ТУСУРа. 2008. №2(18), ч. 1, июль. С. 5–9.

ВЛИЯНИЕ ФАЗОВЫХ ШУМОВ СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДОПЛЕРОВСКИХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

И.В. Скоторенко, аспирант

*Научный руководитель Г.С. Шарыгин, зав. каф. РТС, проф., д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, РТФ, каф. РТС, iliad1@yandex.ru*

Синтезаторы частот (СЧ) – это устройства, способные генерировать частоту, задающуюся дистанционно тем или иным способом. В доплеровских радиолокационных системах (РЛС) СЧ используются в качестве гетеродинов в приемопередающих модулях. Одним из параметров, характеризующих кратковременную нестабильность генерируемого сигнала, являются фазовые шумы (ФШ).

Идеальный передатчик РЛС [1] излучает гармонический сигнал вида

$$u(t) = U^0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где U^0 , ω_0 , φ_0 – постоянные амплитуда, частота и начальная фаза гармонического сигнала.

В реальном передатчике под влиянием внешних и внутренних шумов амплитуда и фаза колебания изменяются случайным образом. Поэтому сигнал имеет вид

$$u(t) = U(t) \cos \psi(t) = U^0 [1 + m(t)] \cos[\omega_0 t + \varphi(t)].$$

Здесь $m(t)$ и $\varphi(t)$ – случайные процессы с нулевым средним значением, описывающие амплитудную и фазовую модуляции сигнала.

На рис. 1 показано наглядное проявление фазового шума сигнала во временной и частотной областях [2].

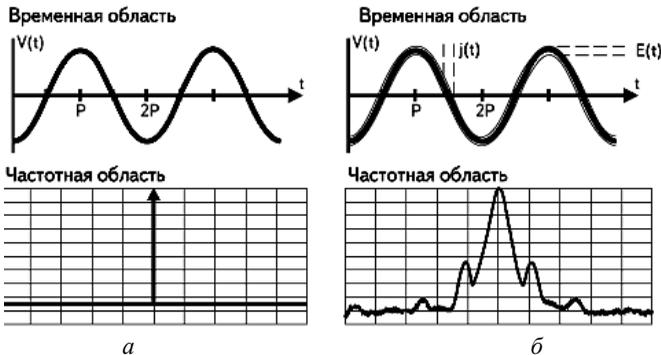


Рис. 1. РЧ-сигналы в частотной и временной областях: а – идеальный сигнал; б – реальный сигнал

Доплеровские РЛС измеряют параметры цели по измеряемому значению разности фаз излученного и принятого сигнала:

$$\Delta\psi(t, \tau) = \psi(t + \tau) - \psi(t),$$

где τ – время запаздывания отраженного сигнала.

На практике отраженный от подвижной цели полезный сигнал может поступать на радиолокационный приемник вместе с сигналом, отразившимся от земной поверхности. Как правило, отраженный от поверхности земли сигнал значительно больше по амплитуде. Если гетеродин радиолокационного приемника имеет высокий фазовый шум, то сигнал, отраженный от поверхности земли, может маскировать полезный сигнал с низким уровнем доплеровского сдвига частоты, отразившийся от цели (рис. 2, 3). В радиолокации низкий фазовый шум является критичным для генераторов, таких как стабилизированные гетеродины (STALO) и когерентные гетеродины (COHO), так как их сигналы являются основой радиолокатора. Любые ухудшения фазы этих сигналов будут умножаться, так как они преобразуются вверх на более высокие частоты передачи и приема, фактически уменьшая отношение сигнала к шуму. На рис. 4 изображена диаграмма вероятностей обнаружения [3] при различных значениях отношения сигнал/шум при фиксированных вероятностях ложной тревоги. Уровень фазовых шумов гетеродина радиолокационного приемника определяет, таким образом, минимальный детектируемый уровень отраженного полезного сигнала и, следовательно, чувствительность и вероятность обнаружения РЛС. Хорошие шумовые характеристики синтезатора частот являются, следовательно, важными для работы доплеровского радиолокатора.

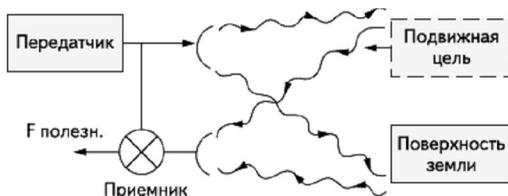
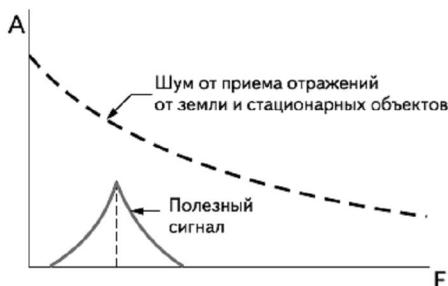


Рис. 2. Влияние фазового шума излученного сигнала на способность обнаружения в доплеровском радиолокаторе



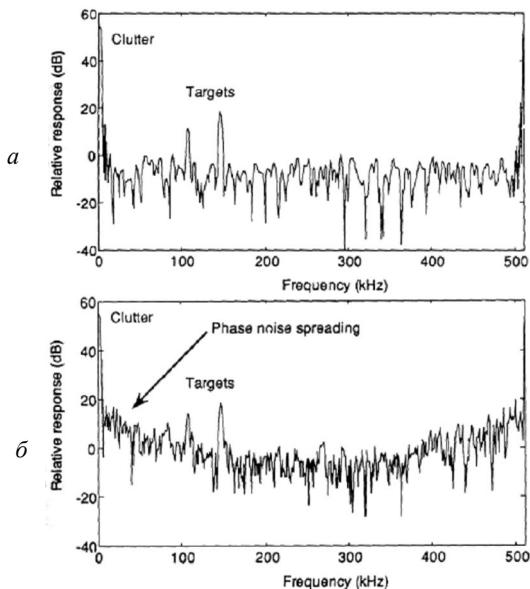


Рис. 3. Спектр принятого сигнала в приемнике доплеровской РЛС [3]:
a – две цели и помеха при отсутствии ФШ; *б* – эффект влияния фазового шума на способность к обнаружению цели в доплеровской РЛС

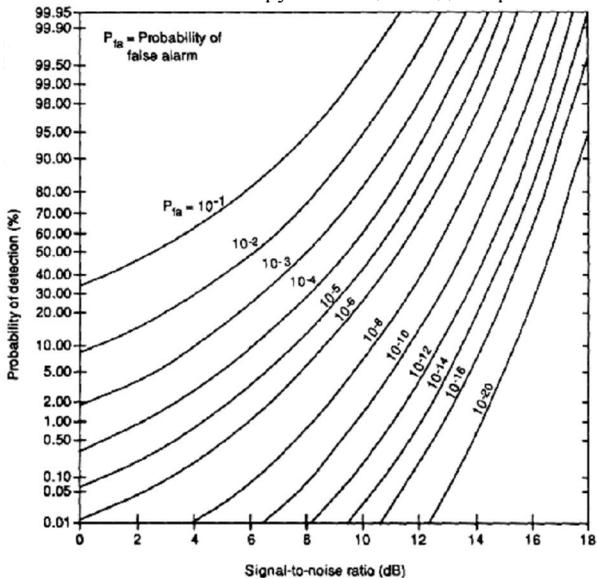


Рис. 4. Диаграмма вероятностей обнаружения при фиксированных вероятностях ложной тревоги в зависимости от отношения сигнал/шум

ЛИТЕРАТУРА

1. *Царапкин Д.П.* Стабилизация частоты возбудителей радиопередатчиков СВЧ: учеб. пособие / Под ред. Г.И. Коптева. М.: МЭИ, 1985. 80 с.
2. *Бельчиков С.* Фазовый шум: как спуститься ниже -120 дБн/Гц на отстройке 10 кГц в диапазоне частот до 14 ГГц, или Борьба за децибелы // Компоненты и технологии. 2009. № 5.
3. *James A. Scheer, James A. Scheer, James L. Kurtz.* Coherent Radar Performance Estimation. Artech House Publishers, 1993. 464 с.

СУТОЧНЫЙ ХОД ПОГРЕШНОСТИ СИНХРОНИЗАЦИИ ШКАЛ ВРЕМЕНИ ПРОСТРАНСТВЕННО РАЗНЕСЕННЫХ ПУНКТОВ

П.И. Танцай, В.Г. Корниенко

г. Томск, ТУСУР, НИИ РТС, rwplab@ms.tusur.ru

Целью представленного исследования является оценка качества синхронизации шкал времени в пространственно разнесенных пунктах в зависимости от времени суток.

В исследованиях применялась аппаратура системы синхронизации (СС) шкал времени, разработанная в НИИ РТС ТУСУРа [1, 2]. Система синхронизации работала в дециметровом диапазоне и состояла из центрального и периферийного пунктов. Протяженность трассы 8,2 км, трасса была закрытой. Препятствие располагалось на стороне периферийного пункта и занимало первые 200–300 м трассы. Препятствием являлся березовый лес, вершины которого возвышались над антенной на 12 м.

При измерениях в течение длительного времени в СС регистрировалось суммарное время задержки в прямом и обратном направлениях с темпом раз в пять секунд.

Использовались данные измерений с 8.06.2010 г. по 13.06.2010 г. При обработке результатов измерений вычислялось среднее значение и СКО времени задержки за шесть суток для одного и того же момента времени суток.

Результаты обработки представлены в графическом виде. На рис. 1 показаны средние значения времени задержки, по вертикальной оси отложено время задержки (в нс), по горизонтальной оси записано время суток. На рис. 2 представлены СКО времени задержки по вертикальной оси отложены значения СКО времени задержки (в нс), по горизонтальной – время суток.

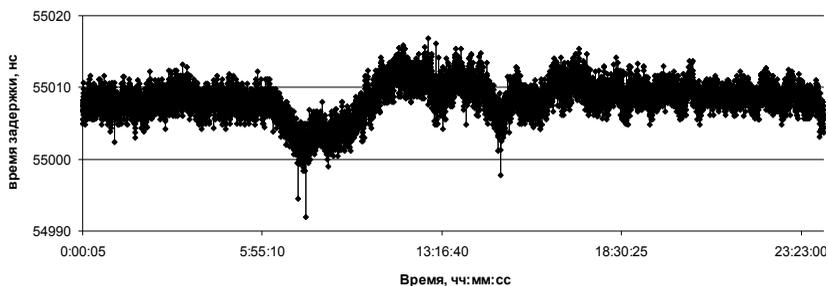


Рис. 1. Усредненное время задержки за шесть дней

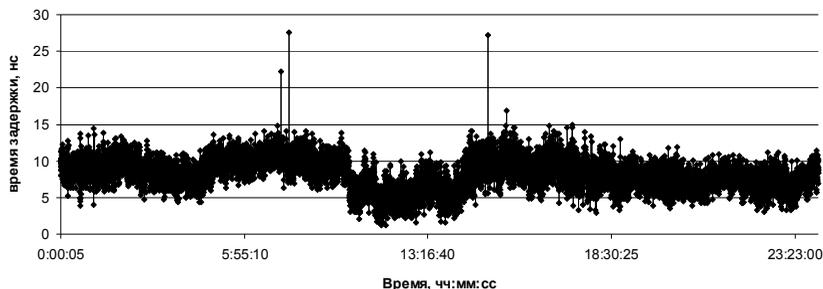


Рис. 2. СКО времени задержки за шесть дней

Для ряда средних значений времени задержки (см. рис. 1) был получен с помощью БПФ спектр, представленный на рис. 3.

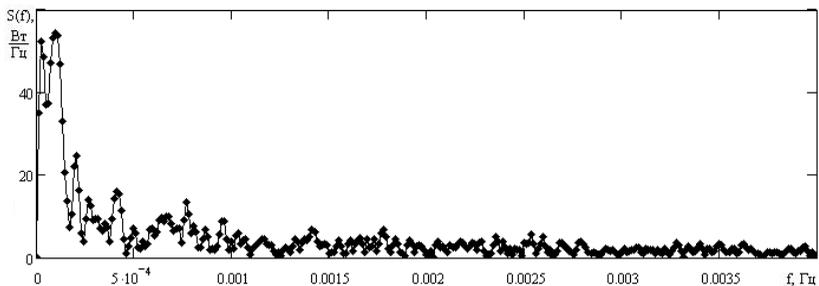


Рис. 3. Спектр суточного хода времени задержки

Как видно из рисунка, заметное превышение спектральной плотности мощности флуктуаций средних задержек наблюдается на частотах ниже 0,0028 Гц. Хорошо выделяются линии 12 и 3-часовых периодов.

Выявленная суточная зависимость может быть использована для повышения точности поддержания шкалы времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Танцай П.И., Корниенко В.Г.* Экспериментальные исследования точности синхронизации шкал времени в пространственно разнесенных пунктах методом запросной радиолокации // Доклады ТУСУРа. 2008. №2 (18), ч. 1, июль.
2. *Денисов В.П.* Система синхронизации наземного радиофизического комплекса / В.П. Денисов, М.В. Крутиков, В.Ю. Лебедев и др. / Матер. IX Междунар. науч.-техн. конф. Воронеж: Изд-во ООО НПФ «САКВОЕЕ», 2003. С. 1515–1526.

АЛГОРИТМ ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ В АМПЛИТУДНОМ ПЕЛЕНГАТОРЕ

В.В. Цугланов, аспирант каф. РТС, м.н.с.

г. Томск, ТУСУР, НИИ РТС, tsuglanovvv@mail.ru

В статье представлен алгоритм оценки пеленгов близко расположенных источников.

Современная задача пассивной радиолокации диктует требования по созданию методов оценки пеленгов источников радиоизлучения (ИРИ) с разрешающей способностью выше, чем может обеспечить система, сканирующая пространство узкой диаграммой направленности и обеспечивающая разрешения по критерию Рэлея.

В последнее время широкое применение получили методы спектрального разрешения, основанные на анализе собственных значений автокорреляционной матрицы или одной из матриц данных, обеспечивающие лучшие характеристики разрешения при низких отношениях сигнал/шум. Ключевой операцией в этих методах является разделение информации, содержащейся в автокорреляционной матрице или матрице данных, на два векторных подпространства – подпространство сигнала и подпространство шума, разделяя собственные значения на группы «больших» и «малых» чисел [1].

Наиболее известным методом, обладающим свойством «сверхразрешения», является метод MUSIC. При решении пеленгационной задачи считается, что с каждой парой больших собственных значений можно отождествить отдельный источник излучения. Все малые значения предполагаются связанными исключительно с собственными шумами системы.

Оценка числа источников и углов прихода от ИРИ определяется на основании анализа спектра [2]:

$$S(e^{j\omega}) = \frac{1}{D(e^{j\omega})},$$

где $D(e^{j\omega})$ – так называемый «нуль»-спектр:

$$D(e^{j\omega}) = \mathbf{F}_0^H(\omega) \left[\sum_{n=M+1}^N \mathbf{V}_n \mathbf{V}_n^H \right] \mathbf{F}_0(\omega).$$

Здесь $\mathbf{F}_0(\omega)$ – управляемый вектор волнового фронта

$$\mathbf{F}_0(\omega) = \frac{1}{\sqrt{N}} \begin{bmatrix} 1 & e^{j\omega} & e^{j2\omega} & \dots & e^{j(N-1)\omega} \end{bmatrix},$$

где M – количество источников ИРИ; N – количество антенных элементов.

Например, для оценки числа и частот синусоид, входящих в состав сигнала с гауссовским шумом:

$$S(k) = \exp(j\frac{\pi}{7}k) + 2\exp(j\frac{\pi}{4}k) + 3\exp(j\frac{\pi}{3}k) + n(k). \quad (1)$$

Спектральная характеристика примет вид, представленный на рис. 1.

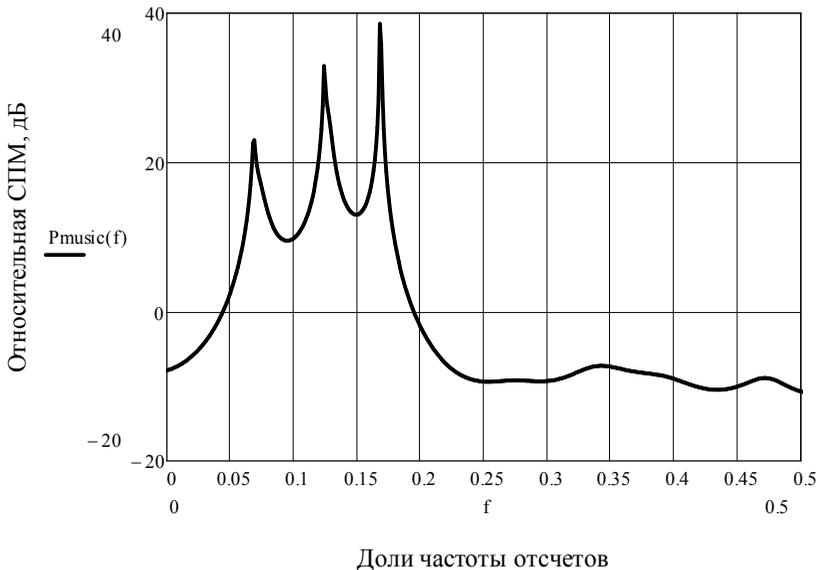


Рис. 1. Спектральная оценка числа комплексных синусоид

Можно увидеть из рис. 1, что оценка частоты, найденная с помощью относительной спектральной мощности на основе алгоритма MUSIC, совпадает с заложенными в формуле (1):

$$f_1 = \frac{1}{14} = 0,071,$$

$$f_2 = \frac{1}{8} = 0,125,$$

$$f_3 = \frac{1}{6} = 0,167.$$

Данный метод позволяет разрешать сигналы, отстоящие друг от друга, на доли частоты отсчетов. Применение его в системах определения пеленга ИРИ сводится к ведению понятия пространственной частоты, которая описывает скорость изменения фазы волны по апертуре приемной антенны [3]. Например, пространственная частота для эквидистантной антенной решетки определяется выражением

$$\omega_m = \frac{2\pi d}{\lambda} \sin(\Theta_m),$$

где Θ_m – угол прихода плоской волны от m -го ИРИ ($m = \overline{1, M}$); λ – длина волны; $S_m(k)$ – комплексная амплитуда сигнала m -го ИРИ; d – расстояние между соседними элементами.

После отыскания пространственной частоты достаточно для оценки пеленга найти значение Θ_m .

Указанный метод разрешения предполагается использовать в системе с многолучевой диаграммой.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Марпл.-мл. С.Л.* Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. М.: Мир, 1990. 584 с.
2. *Аджемов С.С.* Многошаговый алгоритм пассивного пространственного разрешения источников радиоизлучения / С.С. Аджемов, Г.О. Бокк, В.И. Дорохин, П.В. Миненко // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2003. №3. С. 11–17.
3. *Меркулов В.И. и др.* Защита радиолокационных систем от помех. Состояние и тенденции развития / Под ред. А.И. Канащенкова. М.: Радиотехника, 2003. 416 с.

МЕЖСПУТНИКОВАЯ СЕТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ ГРУППИРОВКИ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ПАССИВНОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ

*В.В. Цугланов, аспирант каф. РТС, м.н.с.
г. Томск, ТУСУР, НИИ РТС, tsuglanovvv@mail.ru*

В статье рассмотрены принципы построения каналов передачи данных для организации межспутниковой связи.

Бурный рост промышленности человечества обуславливает наличие способов и средств обмена информации, которые в последнее время приобретают глобальные масштабы. Освоение малого космоса позволило развивать новые направления в разработке систем мониторинга Земли, новых средств передачи информации и других прикладных систем. Передача информации посредством космических аппаратов обладает рядом преимуществ перед каналами связи, основанных на проводных и наземных радиотехнических системах. Основным достоинством является возможность посылки данных практически из любой точки планеты. Мониторинг земной поверхности посредством низкоорбитальных космических аппаратов (КА) также является актуальной задачей и используется в современном мире практически в любой отрасли.

Создание межспутниковых каналов передачи данных в большинстве случаев обусловлено необходимостью доступа к информации или ее обменом в режиме реального времени. Например, разрабатываемая спутниковая система низкоорбитальной спутниковой связи «Teledesic», структура которой приведена на рис. 1, обладает пропускной способностью от 16 до 2048 Кбит/с для стандартных терминалов и до 1,24416 Гбит/с для высокоскоростных терминалов (GigaLink Terminal). Каждый КА является узлом сети с быстрой коммутацией пакетов и связан с 8 соседними КА межспутниковыми линиями в диапазоне частот 65–71 ГГц, в результате чего создается 8-связная неиерархическая ячеистая сеть связи.

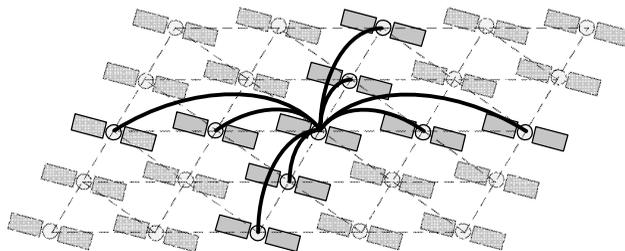


Рис. 1. Структура системы сети связи «Teledesic»

Скорость передачи в межспутниковых линиях составляет 155,52 Мбит/с, а при сложении всех межспутниковых линий пропускная способность увеличивается до 1,24416 Гбит/с [1].

Другим примером использования межспутниковой линии является спутниковая система связи Iridium, в которой каждый КА имеет радиолинии связи с двумя соседними КА одной орбитальной плоскости и двумя КА в соседних (слева и справа) орбитальных плоскостях. Всего каждый КА для осуществления межбортовой связи имеет 4 антенны и 4 тракта радиоэлектронного оборудования. В качестве антенн применены щелевые антенные решетки с усилением 36 дБ, управление диаграммой направленности каждой из антенн осуществляется по азимуту в пределах ± 5 град.

Для межспутниковой связи используется полоса частот 200 МГц (23,18–23,38 ГГц). План частот предусматривает размещение в полосе 200 МГц 8 отдельных частотных полос для исключения взаимных помех между каналами. Скорость передачи в каждой линии 25 Мбит/с.

Используется метод модуляции ФМ-4, для ослабления уровня гармонических составляющих используется фильтрация модулированного сигнала [2].

Каждый канал межспутниковой связи обеспечивает передачу 600 телефонных цифровых каналов без сжатия и, соответственно, при коэффициенте сжатия 2,2:1 – 1300 телефонных цифровых каналов, с вероятностью ошибки не хуже 10^{-6} на бит информации.

Подобные технологии могут быть использованы при построении межспутниковой линии передачи данных с целевой аппаратуры КА пассивного радиолокационного наблюдения. На спутнике-ретрансляторе необходимо организовать канал с пропускной способностью 480 Мбит/с. Для этого предлагается диапазон частот 22,55–23,55 ГГц разбить на 5 частотных стволов с пропускной способностью 100 Мбит/с в каждом. Вид модуляции в каналах предлагается использовать DPSK, что позволит упростить приемопередающую аппаратуру за счет исключения блока синхронизации двух КА.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Замарин А.И.* Новые горизонты спутниковой связи: низкоорбитальная многоспутниковая система связи «Teledesic» / А.И. Замарин // *Информация и космос.* 2002. №1.
2. *Технические характеристики спутниковой системы связи Iridium (Иридиум).* Режим доступа: http://www.satlink.ru/Spytnikovaia_sviaz/Iridium/Tehnicheskie_harakteristiki.html

МЕТОДЫ ФИЛЬТРАЦИИ ИНФОРМАТИВНОГО СООБЩЕНИЯ И ИХ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

П.В. Уйданов, м.н.с.

*Научный руководитель В.И. Тисленко, проф.
г. Томск, ТУСУР, каф. РТС, upv@sibmail.com*

В радиолокации, радионавигации, связи разделяют понятия первичной обработки сигнала, т.е. обработки сигнала, содержащего высокочастотную несущую и модуляцию в виде низкочастотного сигнала, содержащего некоторую интересующую нас информацию. Вторичной обработкой информации называют процесс получения информативного сообщения из этого низкочастотного сигнала.

Низкочастотный сигнал можно представить в виде

$$y(t) = S(t, \lambda(t)) + n(t), \quad (1)$$

где $S(t, \lambda(t))$ – истинное значение низкочастотного сигнала; $\lambda(t)$ – информативное сообщение; $n(t)$ – эквивалентный шум. Задача фильтрации состоит в формировании по измерениям $y(t)$ оценки $\hat{\lambda}(t)$, наиболее близкой к сообщению $\lambda(t)$.

В зависимости от способа представления (модели) информативные сообщения классифицируют на два типа [1, 2].

1. Параметрические сообщения. В этом случае функцию $\lambda(t)$ задают с точностью до неизвестных параметров, например в виде степенного ряда. Оценка сообщения $\hat{\lambda}(t)$ предполагает формирование неизвестных параметров. Отметим, что неизвестная совокупность параметров может рассматриваться как случайный вектор или как неизвестный детерминированный.

2. Информативное сообщение – случайный процесс. В этом случае статистическая модель процесса $\lambda(t)$ может быть задана двумя способами: первый сводится к заданию многомерной плотности распределения вероятностей (ПРВ), второй – к заданию порождающего стохастического дифференциального уравнения.

Для решения параметрической задачи с неслучайными неизвестными параметрами используется метод наименьших квадратов (МНК). При этом расчет коэффициентов регрессии a, b для случая линейной модели при дискретных наблюдениях

$$y_k = b - at_k + n_k \quad (2)$$

выполняется по известным соотношениям [3]

$$\hat{b} = \frac{\overline{t^2 \cdot z - tz \cdot t}}{\overline{t^2 - (t)^2}}, \quad \hat{a} = \frac{\overline{tz - z \cdot t}}{\overline{t^2 - (t)^2}}, \quad (3)$$

где знак « $\bar{}$ » означает статистическое среднее по ансамблю.

Для решения параметрической задачи со случайными параметрами с известной ПРВ используют байесовский подход. В случае гауссовых ПРВ и гауссовой помехи в (1) оптимальный алгоритм реализуется в фильтре Калмана [3]. Байесовский подход и представление информативных процессов с использованием порождающих стохастических дифференциальных уравнений являются основой современной теории марковской фильтрации [2, 3].

В дискретном случае соответствующая динамическая система (генератор процесса $\lambda(t)$) описывается системой разностных уравнений, порядок которой определяет порядок связности марковского процесса. Координаты многосвязного процесса называют переменными состояния. В случае параметрического описания процесса $\lambda(t)$ (при случайных коэффициентах), уравнения состояния имеют вид

$$x_k = \Phi x_{k-1}, k=1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

где x_k – вектор переменных состояния на k -м шаге; Φ – матрица перехода состояний. При этом x_0 – случайный вектор с известной ПРВ. Уравнение (4) определяет модель сообщения. Статистическая модель наблюдений в линейной задаче определена соотношением

$$z_k = Hx_k + n_k, \quad (5)$$

где H – матрица наблюдений; n_k – шум наблюдений.

Рекуррентный алгоритм формирования оптимальной оценки состояния \hat{x}_k состоит из двух этапов. На первом вычисляют экстраполированную оценку (предсказание) и её ковариационную матрицу, а на втором осуществляются экстраполяция наблюдения, вычисление невязки, её ковариационной матрицы и расчет оптимального коэффициента усиления фильтра Калмана.

В работе выполнено исследование статистических свойств оценок высоты и скорости её изменения по наблюдениям сигнала на выходе высотомера снижающегося самолета. Высотомер выдает показания в дискретные моменты времени. Необходимо оптимально оценить текущую высоту и скорость снижения самолета.

При использовании МНК можно использовать формулы (3), пересчитывая коэффициенты на каждом шаге. В этом случае объем вычислений будет возрастать со временем.

Разностные уравнения (4) для дискретного времени имеют вид

$$x_1(k) = x_1(k-1) - \Delta t \cdot x_2(k-1), \quad x_2(k) = x_2(k-1). \quad (6)$$

Матрица перехода состояний

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & -\Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

матрица наблюдений $H = [1 \ 0]$. Начальные оценки $\hat{x}_1(0) = z(1)$, $\hat{x}_2(0) = (z(1) - z(2)) / \Delta t$. Начальная ковариационная матрица ошибок оценок имела диагональный вид

$$P_0 = \begin{bmatrix} \sigma_b^2 & 0 \\ 0 & \sigma_a^2 \end{bmatrix}, \quad (8)$$

где σ_b^2 , σ_a^2 – дисперсии случайных величин, определяющих начальные значения параметров a, b .

Используя описанные выше данные, было проведено компьютерное моделирование в системе Matlab. Для примера на рис. 1 приведены результаты, полученные статистическим усреднением по 300 независимым измерениям.

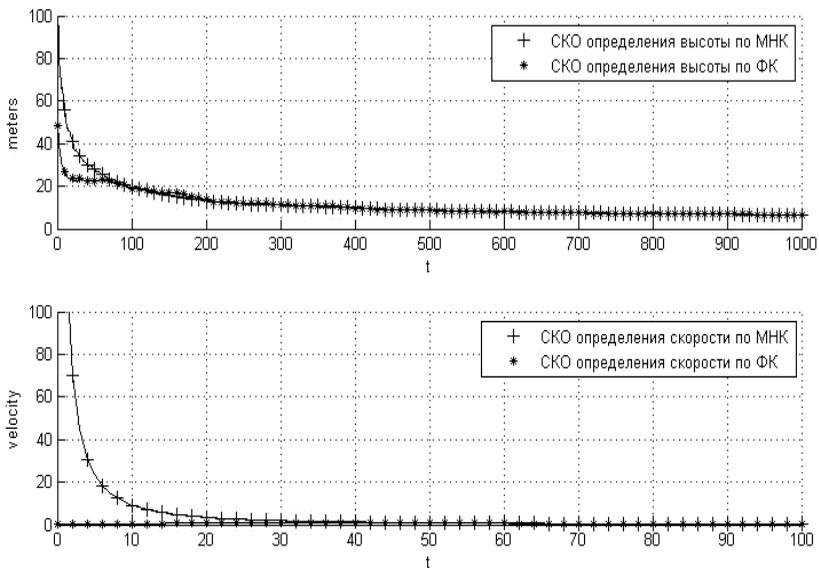


Рис. 1. Результаты моделирования работы фильтра Калмана (ФК) и метода наименьших квадратов (МНК)

Из рис. 1 легко заметить, что использование фильтра Калмана дает меньшую СКО в начальные моменты времени. В установившемся режиме СКО оценок практически идентичны для ФК и МНК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тисленко В.И. Статистическая теория радиотехнических систем. Томск: ТУСУР, 2003. 153 с.
2. Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. М.: Радио и связь, 1991. 608 с.
3. Simon D. Optimal state estimation. N.Y. John Wiley & Sons., 2004. 536 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМЫ ПОГЛОЩАЮЩЕГО СЛОЯ ПРИ ЧИСЛЕННОМ РЕШЕНИИ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

Ф.Н. Захаров, В.С. Беликов, А.А. Васильев, студенты 5-го курса

г. Томск, ТУСУР, каф. РТС, zfn_kom@mail.ru

Для вычисления напряжённости поля $E(x,y) = \Psi(x,y)\exp(ikx)$ монохроматической волны, распространяющейся в направлении оси Ox в неоднородной среде с относительной диэлектрической проницаемостью $\varepsilon(x, y)$, в последнее время все чаще используются численные методы решения двумерного параболического уравнения (ПУ) [1, 2]

$$2ik \frac{\partial \Psi(x,y)}{\partial x} + \frac{\partial^2 \Psi(x,y)}{\partial y^2} + k^2[\varepsilon(x,y) - 1]\Psi(x,y) = 0, \quad (1)$$

где $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число; i – мнимая единица.

Полагая, что задано поле на оси Oy декартовой системы координат, область расчёта покрывают прямоугольной сеткой с ячейками $\Delta x \cdot \Delta y$ и последовательно, удаляясь от этой оси, находят значения поля во всех узлах сетки $\Psi_{m,n} = \Psi(m \cdot \Delta x, n \cdot \Delta y)$, где $0 < m \leq M$, $0 \leq n \leq N$.

Если на приземных трассах нижнюю границу ($n = 0$) расчётной области обычно удается совместить с плоской поверхностью земли, то верхняя граница ($n = N$) является искусственной, и поэтому при использовании любой численной схемы решения ПУ создает ложные отражённые волны. Для решения ПУ необходимо корректно задать верхнее граничное условие (на границе со свободным пространством), но это до сих пор является сложной математической проблемой.

Основным универсальным способом является введение искусственного поглощающего слоя, являющегося аналогом поглощающего покрытия в безэховой камере. Теория введения поглощающих слоев разработана для непрерывного ПУ [1]. Однако для дискретного ПУ подобной теории нет, поэтому форма слоя и его параметры задают подбором или даже произвольным образом. Часто в качестве поглощающего слоя используют окно Хэннинга [1].

В данной работе исследуются слои степенного вида, в которых шаговой коэффициент пропускания уменьшается по линейному (рис. 1, а), параболическому (рис. 1, б) и кубическому (рис. 1, в) законам

$$w(n) = \begin{cases} 1, & \text{в рабочей области } (n \leq N - N_c), \\ 1 - A \left[\frac{n - (N - N_c)}{N_c} \right]^S, & \text{в поглощающем слое } (n \geq N - N_c), \end{cases}$$

где $S = 1, 2, 3$; A – амплитуда; N_c – ширина слоя; N – общая ширина зоны расчёта.

Цель работы – при заданных значениях геометрических параметров области расчёта определить такие амплитуду и форму поглощающего слоя, при которых обеспечивается минимальная среднеквадратическая ошибка (СКО) расчёта напряжённости поля.

Пошаговое численное решение ПУ (1) производилось методом БПФ при следующих исходных данных: $\lambda = 10$ см; $\Delta x = 5$ м; $\Delta y = 1$ м, $N = 256$, $N_c = 32$, а источник излучения, имеющий равномерную диаграмму направленности в интервале $\pm 0,05$ рад, располагался в центре рабочей области. Такой же поглощающий слой симметрично располагался и на нижней границе области расчёта.

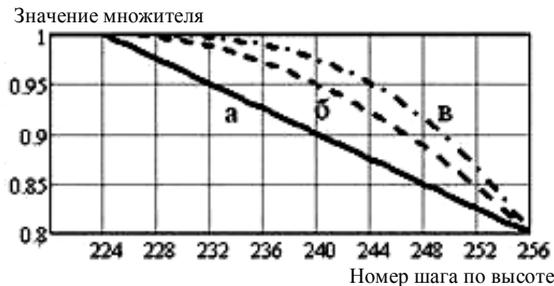


Рис. 1. Коэффициент пропускания линейного (а); параболического (б); и кубического (в) поглощающих слоев при распространении волны на расстоянии Δx ($N = 256$, $N_c = 32$, $A = 0,2$)

Полученные оптимальные значения амплитуд и соответствующие им значения СКО для слоев разной формы и для различных дальностей представлены в табл. 1–3.

Видно, что на трассах длиной до 20 км наиболее эффективен линейный поглощающий слой и СКО при этом не превышает 15%. С ростом дальности необходимо, чтобы коэффициент пропускания при переходе в слой уменьшался более плавно. Данные расчетов показали, что на дальностях 20–40 км наименьшее значение СКО дает использование параболического слоя, а на дальностях 40 км и более – кубиче-

ского. Значение СКО на всех этих дальностях не превышает 25%, что приемлемо для практических приложений.

Таблица 1

СКО расчёта напряженности поля при использовании линейного поглощающего слоя

Дальность, км	Амплитуда	Ошибка, %	
		В центре области расчёта	На всей области расчёта
5	0,020–0,025	12–13	9–10
10	0,025–0,040	9–10	7–9
15	0,015–0,040	11–12	6–8
20	0,015–0,035	14–15	7–10
25	0,010–0,020	15–16	8–10
30	0,005–0,015	18–20	10–12

Таблица 2

СКО расчёта напряженности поля при использовании параболического поглощающего слоя

Дальность, км	Амплитуда	Ошибка, %	
		В центре области расчёта	На всей области расчёта
20	0,050–0,090	15	7–8
30	0,030–0,050	17–18	9–10
40	0,010–0,040	21–22	11–15
50	0,010–0,020	22–25	14–16
60	0,005–0,025	22–27	17–25

Таблица 3

СКО расчёта напряженности поля при использовании кубического поглощающего слоя

Дальность, км	Амплитуда	Ошибка, %	
		В центре области расчёта	На всей области расчёта
20	0,100–0,200	17–18	9–10
30	0,050–0,300	17–18	9–15
40	0,020–0,100	20–22	12–15
50	0,015–0,035	22–24	15–17
60	0,020–0,090	23–25	19–25

ЛИТЕРАТУРА

1. *Levy M.* Parabolic equation methods for electromagnetic wave propagation, London: The IEEE, 2000. 336 p.
2. *Kuttler J.R. and Dockery G.D.* Theoretical description of parabolic approximation / Fourier split-step method of representing electromagnetic propagation in the troposphere // Radio Science. 1991. Vol. 26, № 2. P. 381–393.

СЕКЦИЯ 2

ЗАЩИЩЕННЫЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

*Председатель – А.М. Голиков, к.т.н., доцент каф. РТС;
зам. председателя – Бернгардт А.С., доцент каф. РТС, к.т.н.*

СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ГОЛОСОВОГО ОТПЕЧАТКА ДИКТОРА

*Р.В. Борисов, аспирант каф. информационной безопасности
Научный руководитель Б.Н. Епифанцев, проф., д.т.н.
г. Омск, Сибирская автомобильно-дорожная академия (СибАДИ),
borisov.roman.v@gmail.com*

Современный уровень развития телекоммуникационных систем предлагает каждому возможность использования мобильной связи для телефонных переговоров, что позволяет пользователям экономить своё время, делает бизнес более эффективным и динамичным. Исключением не является и теневая экономика, например торговля запрещёнными веществами, оружием, краденым.

В криминалистике давно используется метод дактилоскопии, позволяющий по следам деятельности преступника установить его личность в случае, если его отпечатки пальцев уже есть в картотеке, или точно определить причастность к делу одного из подозреваемых лиц. В случае если преступная деятельность ведётся по телефону, методы дактилоскопии оказываются непригодными. Возникает необходимость прослушивания переговоров, однако в этом случае, даже если органам внутренних дел удаётся записать все разговоры мобильной сети, обработка накопленных данных требует невозможное количество человеко-часов работы специально подготовленных сотрудников.

Разработанная технология является аналогом дактилоскопии в телекоммуникационном пространстве. Для формирования отпечатка голоса требуется перехватить всего 20 с речи (рис. 1).

Учитывая, что разные дикторы имеют разные частоты основного тона и словари используемых ими слов различаются, следует ожидать, что усреднение текущих спектров по речевому сообщению даст интегральный спектр, который будет характеризовать индивидуальные особенности диктора. Для подтверждения истинности гипотезы по

существо можно ограничиться упрощённым описанием индивидуальности диктора – распределением интегральной частоты. В качестве такой частоты можно использовать число переходов через нулевую ось (рис. 2).

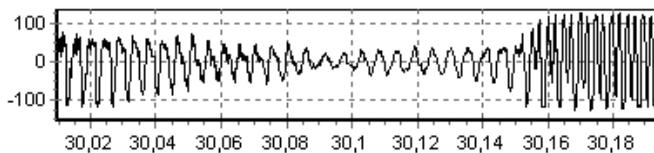


Рис. 1. Сигналограмма фрагмента речи

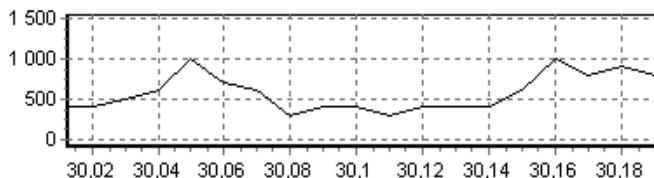


Рис. 2. График интегральной частоты

Усредняя число переходов на последовательных участках по 10 мс, получим аналог изменения интегральной частоты во времени.

$$N(t, \Delta t) = \int_t^{t+\Delta t} n(t) dt, \quad \Delta t = 10 \text{ мс}.$$

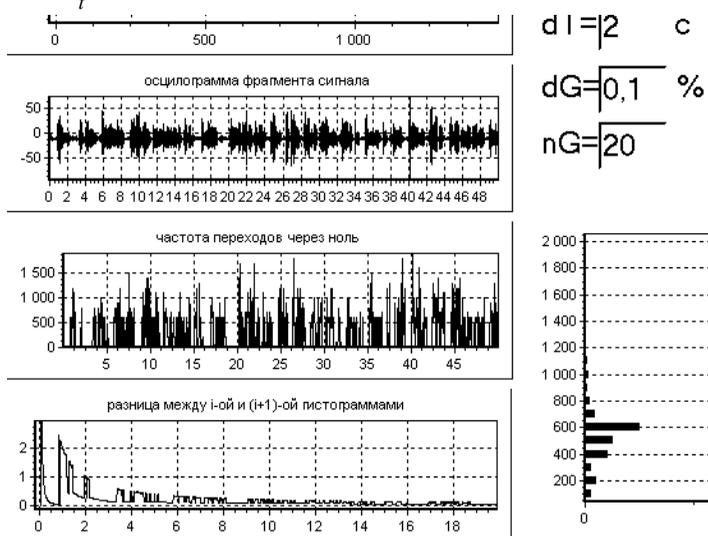


Рис. 3. Фрагмент экранной формы программы

По $N(t, \Delta t)$ строятся гистограммы распределений интегральной частоты дикторов.

На рис. 3 изображена экранная форма программы, запрашивающая параметры (ширина окна – 10 мс, длина обрабатываемого фрагмента – 50 с, необходимая разница между i -й и $(i+1)$ -й гистограммами интервала стабилизации – 0,1%, длина интервала стабилизации – 2 с, количество столбцов гистограммы – 20).

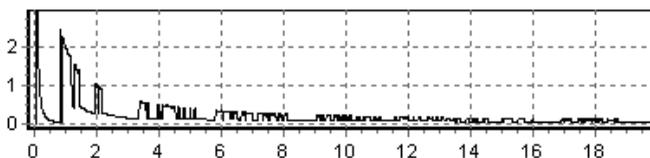


Рис. 4. Расстояния между соседними гистограммами

Для всех проведённых опытов после 18 с обрабатываемого сообщения разница между каждыми последующими парами гистограмм не превышает 0,1%, что определяет минимальную длину перехватываемого сообщения, необходимого для идентификации говорящего, равной 20 с (рис. 4).

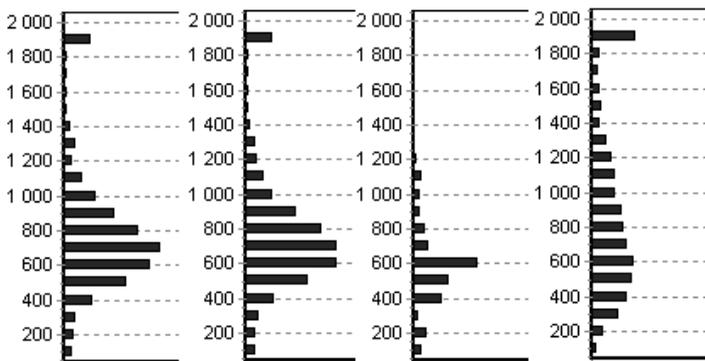


Рис. 5. Гистограммы значений интегральной частоты

Из графиков (рис. 5) видно, что получаемые нормированные гистограммы похожи для сообщений одного диктора и различны для разных дикторов. В таблице приведены коэффициенты корреляции между гистограммами, полученными из различных фонограмм нескольких дикторов.

Из таблицы видно, что гистограммы (голосовые отпечатки) дикторов имеют больший коэффициент для одного диктора и меньший для разных.

Коэффициенты корреляции

№ диктора	1	1	1	2	2	2	3	3	4	4
1	1,00	0,99	0,99	0,91	0,91	0,87	-0,19	0,49	0,07	0,09
1	0,99	1	0,99	0,91	0,91	0,87	-0,19	0,49	0,06	0,09
1	0,99	0,99	1	0,91	0,91	0,87	-0,19	0,49	0,06	0,08
2	0,91	0,91	0,91	1	0,99	0,98	0,12	0,73	0,32	0,33
2	0,91	0,91	0,91	0,99	1	0,98	0,08	0,70	0,31	0,33
2	0,87	0,87	0,87	0,98	0,98	1	0,19	0,76	0,35	0,37
3	-0,19	-0,19	-0,19	0,12	0,08	0,19	1	0,70	0,13	0,12
3	0,49	0,49	0,49	0,73	0,70	0,76	0,70	1,00	0,23	0,23
4	0,07	0,06	0,06	0,32	0,31	0,35	0,13	0,23	1,00	0,99
4	0,09	0,09	0,08	0,33	0,33	0,37	0,12	0,23	0,99	1

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ЗАЩИЩЕННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ ПЛАТЕЖЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ

*Т.Ю. Бурмистрова, И.А. Коновалова, студентки 3-го курса
г. Томск, ТУСУР, каф. РТС, gol@rts.tusur.ru*

Электронные платежные системы (ЭПС) можно описать как технологию прямых взаиморасчетов между участниками сделки без дополнительных условий (межбанковские переводы, указание личных данных и пр.) посредством Интернета. В сочетании с оперативностью применение ЭПС способствовало резкому развитию электронной коммерции. Сегодня ЭПС – удобный способ расчетов для операторов сотовой связи, интернет-провайдеров, крупных магазинов и многих других.

Электронная платежная система – система безналичных расчетов, заключения контрактов и перевода денег между продавцами и покупателями, банками и их клиентами с помощью средств электронной коммуникации с применением средств кодирования информации и ее автоматической обработки.

Присутствующие сегодня на рынке электронные платежные системы можно разделить на ряд категорий – как по поставщикам, так и

согласно особенностям реализации. Каждая категория имеет своих лидеров и аутсайдеров, но пока ясно, что компаний, доминирующих на всем рынке в целом, еще нет, а наличные деньги, чеки и реальные кредитные карты широко используются параллельно своим электронным аналогам. Банки же традиционно осторожны к экспериментам с различными новыми решениями. Актуальными пока остаются проблемы безопасности в электронных системах, традиционно являющиеся одним из ключевых вопросов финансового бизнеса. Кроме того, для всех этих предложений пока не разработана жесткая система стандартов, которые также повлияли бы на развитие и принятие электронных платежных систем. Пока организационная часть данной отрасли находится в стадии становления и ее участки еще нуждаются в серьезной защите [1].

Электронные платежи, как и любые другие, предусматривают наличие плательщика и получателя платежа. Задачей платежей, как известно, является перемещение денежной суммы от плательщика к получателю. В электронных системах такой перевод сопровождается протоколом электронного платежа. Этот процесс также требует наличия некоторого финансового института, соотносящего данные, которыми стороны обмениваются в платежном протоколе, с реальным перемещением денежных средств. Таким финансовым институтом может служить банк, работающий с реальными денежными средствами, или некоторая организация, выпускающая и контролирующая другие формы представления финансов.

Платежные системы – одни из основных элементов инфраструктуры системы электронной коммерции. Совершенствование продаж в электронной коммерции связано с внедрением более надежных и эффективных платежных систем. Цифровые деньги как основу платежной системы в Internet можно классифицировать по видам функционирования, по уровню безопасности и по способу расчета.

Главные достоинства электронных денег: 1. Мобильность. 2. Быстрота переводов, обмена валют, пополнения электронных кошельков, вывода средств. 3. Конфиденциальность и высокая надежность (сохранность средств).

Выгода электронных денежных переводов внутри одной платежной системы по сравнению с переводами из банка в банк очевидна – низкие проценты и моментальность осуществления платежа. Иными словами, у электронных денег гораздо больше степеней свободы по сравнению с деньгами реальными.

К недостаткам электронных денег относятся: 1. Необходимость знания порядка и правил пользования платежными системами, терминалами, банковскими картами. 2. Необходимость соответствующего

технического оснащения пользователя, будь то настольный ПК, ноутбук, смартфон или карманный ПК. 3. Электронные кошельки и сосредоточенные в них деньги становятся интеллектуальной собственностью клиентов платежных систем.

Вот еще несомненные плюсы: 1. Клиент платежной системы вправе создавать/удалять сколь угодно большое количество своих электронных кошельков, исходя из своих соображений и руководствуясь лишь здравым смыслом. 2. Пользователь имеет возможность брать кредиты электронными деньгами и самому быть кредитором. 3. Протекция сделок: покупатель вправе защитить свои электронные платежи паролем и сообщить его продавцу лишь после получения оплачиваемого товара. 4. На основе электронных денег становится возможным создание успешного интернет-бизнеса.

Классификация способов платежей. В зависимости от используемого вида цифровые деньги могут быть классифицированы на следующие типы: 1. Обмен открытым текстом. 2. Системы, использующие шифрование обмена. 3. Системы с использованием удостоверений. 4. Клиринговые системы Internet. 5. Цифровые наличные (РС-вариант). 6. Цифровые наличные (Smart-card-вариант) [2].

Выполнено в рамках проекта ГПО РТС-1002 – «Создание защищенной информационной системы электронной коммерции».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Голдовский И.* Безопасность платежей в Интернете. СПб.: Питер, 2001. 240 с.
2. *Кривопапов Д.В.* Классификация способов платежей// Информационный сайт Клерк URL: <http://www.klerk.ru/boss/articles/6949/>.

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОКАНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПЕРЕДАЧИ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ ПО ЗАЩИЩЕННЫМ IP VPN-КАНАЛАМ

*П.Е. Ефремов, Н.В. Макаров, студенты 4-го курса
г. Томск, ТУСУР, каф. РТС, gol@rts.tusur.ru*

В соответствии с исследованиями психологов в процессе телефонного разговора в среднем воспринимается около 20% информации, в ходе личного общения – 80%, а в ходе сеанса видеосвязи – 60%. То есть если к общению собеседников по звуковому каналу добавляется визуальный невербальный язык (жесты, мимика и т.п.), то у собеседников повышается эффективность восприятия информации. Как видно, по своим психофизиологическим параметрам видеосвязь достаточно

близка к личному общению и намного превосходит возможности телефонной связи.

Сегодня сосуществуют две технологии, обеспечивающие возможность видеосвязи и проведения видеоконференций, – программные и аппаратные.

Аппаратные решения для общения по видеосвязи и видеоконференций стоят заметно дороже программных, поэтому нами не рассматриваются.

Программные решения для видеосвязи и видеоконференций требуют для своей работы персонального компьютера с подключенной к нему гарнитурой. Эти программы бывают бесплатные (Skype и др.) и платные.

Основные достоинства:

- минимальные первоначальные вложения (камера+гарнитура);
- возможность проведения видеоконференций с несколькими участниками (поддерживают не все программы);
- низкая цена (или бесплатность).

Основные недостатки программных решений для видеосвязи:

- низкое качество видеоизображения (низкое разрешение и низкая частота кадров);
- резкое ухудшение качества, если используется режим видеоконференция;
- очень высокая нагрузка ПК, делающая некомфортной параллельную работу за ПК.

Самый простой и дешевый метод организации видеоконференц-связи через Интернет. Однако о качестве сеанса связи в данном случае говорить не приходится, так как интернет не является гарантированным каналом передачи аудио- и видеоданных. Плюс к этому добавляется и проблема безопасности видеоконференции, т.е. она может стать «общественным достоянием». Для организации видеоконференц-связи через интернет требуется иметь статические IP-адреса и каналы связи с пропускной способностью не менее 512 кБит/с в обе стороны (для исходящего и входящего трафика).

Для организации групповых видеоконференций, в которых участвуют несколько сторон (групп), в каждой из которых может быть по несколько участников, используют групповые системы видеоконференц-связи.

Одним из важнейших критериев выбора является открытость исходного кода. Так как программное решение будет внедряться в образовательной среде, то факт открытости исходного кода благотворно скажется на развитии навыков работы с подобными системами, а так-

же скажется на процессе доработки под нужды учебного процесса. На данный момент вышеописанным требованиям удовлетворяет только программное обеспечение OpenMeetings (рис. 1).

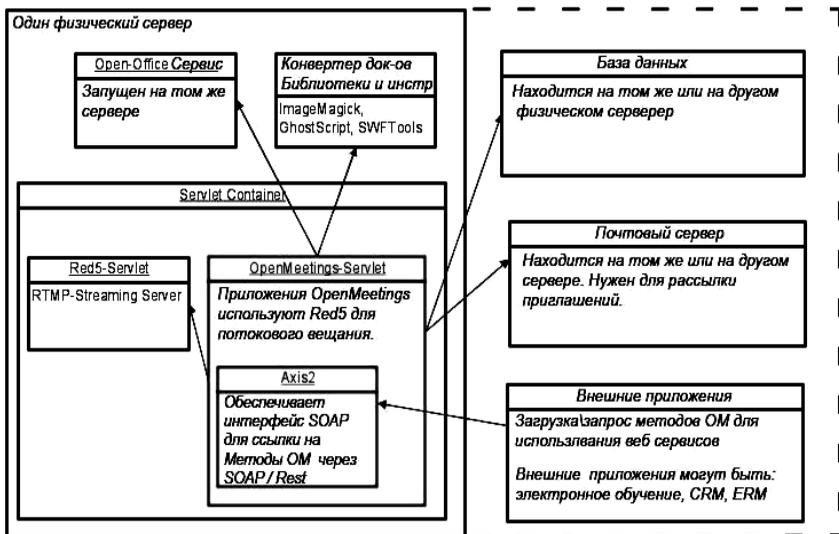


Рис. 1. Архитектура OpenMeetings

Основные направления работы по развитию архитектуры Openmeetings представлены в таблице.

В случаях построения территориально распределенных систем передачи видеoinформации или вынужденного использования небезопасных участков телекоммуникационных сетей операторов связи (таких, где нет возможности реализовать меры защиты) будут использоваться системы с поддержкой шифрования передаваемых по сети данных, а именно с поддержкой технологии виртуальных частных сетей (VPN).

Цель VPN-технологий состоит в максимальной степени обособления потоков данных одного предприятия от потоков данных всех других пользователей публичной сети. Обособленность должна быть обеспечена в отношении параметров пропускной способности потоков и в конфиденциальности передаваемых данных. Таким образом, основными задачами технологий VPN являются обеспечение в публичной сети гарантированного качества обслуживания для потоков пользовательских данных, а также защита их от возможного несанкционированного доступа или разрушения.

Направления работы по развитию архитектуры Openmeetings

Услуга	Описание	Плюсы
Интеграция коммерческого сервера видеоконференций с RTMP и Red5	Стандарт RTMP открыт, что позволяет построить RTMP-совместимый медиасервер на базе Red5	Сервер имеет возможность микширования нескольких входных потоков в один выходной, что позволяет: <ul style="list-style-type: none"> • сократить требования к пропускной способности сети для многоточечных конференций; • поставлять видео и звук более высокого качества; • гарантировать приемлемый уровень качества и централизованно осуществлять контроль за качеством
Исключение RTMP	Медиа-модуль в любых Flash приложениях легко поменять, что позволяет заменить работу по RTMP-протоколу с медиасервером работой с коммерческим сервером и по другому протоколу, например по H.323	Организовать обращения к другому обработчику медиа на уровне конкретного приложения требует минимальных ресурсов
Улучшение интерфейса	Оптимизация пользовательского интерфейса – секрет недавних успехов компаний Apple и Microsoft. Если профессионально «причесать» интерфейс, то в спайке с высококачественным видео- и звуковым обменом продукт будет превосходить большинство конкурентов	Использование свободного продукта позволяет быстро вывести продукт-расширение на один уровень с конкурентами и по дизайну, и по функционалу

Из всего вышеизложенного следует, что в будущем многопользовательские видеоконференции будут все больше и больше интегрироваться в работу предприятий различного уровня. Поэтому создание многопользовательской ВКС с использованием свободного ПО с от-

крытым кодом является довольно перспективным решением для небольших предприятий, которые не готовы платить за дорогостоящее оборудование.

Выполнено в рамках проекта ГПО РТС-0901 – «Разработка и создание аппаратно-программных средств защиты сетей и систем связи».

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://code.google.com/p/openmeetingshttp://wiki.auditory.ru/w/list>
2. <http://code.google.com/p/openmeetings/wiki/InstallationDebian>
3. http://www.teleportservice.ru/hm/benefits_05.htm
4. <http://www.mefedia.com/entry/openmeetings-basic-installation/8604209>

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ LABVIEW ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ СВЯЗИ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ МНОГОУРОВНЕВЫЕ ВИДЫ МОДУЛЯЦИИ СИГНАЛОВ

*В.В. Харитонюк, студент 3-го курса, Голиков А.М., доцент
г. Томск, ТУСУР, каф. РТС, gol@rts.tusur.ru*

Целью проекта является создание виртуальной измерительной лаборатории на основе программного обеспечения LabVIEW для исследования систем связи. Данная виртуальная лаборатория ориентирована на студентов и преподавателей кафедры, должна упростить обработку получаемой информации и уменьшить время, затрачиваемое на проведение лабораторных работ. Задачей данного проекта является разработка методических указаний для проведения лабораторных работ, которые могли бы помочь разобраться в работе программного обеспечения начинающим пользователям.

В настоящее время технологии переходят от аналоговых к цифровым. Нашей обязанностью является внедрение этих технологий, для того чтобы все могли оценить их удобства и освоили методы работы с ними.

Производится создание измерительной лаборатории для получения и обработки данных для сигналов с многоуровневой модуляцией, используемой в современных цифровых системах связи. Данную измерительную лабораторию можно разместить в лабораториях нашего университета, оснащенных оборудованием LabVIEW. Преимуществом данной лаборатории является то, что она достаточно легко программируется, не нужно обладать глубокими познаниями в программировании, для того чтобы создать приложение на данном программном обеспечении. Также стоит отметить, что стандартный пакет програм-

мы можно усилить модулями, которые увеличат и без того широкие возможности данной программной среды.

Данное программное обеспечение можно установить на таких операционных системах, как Linux, Mac OS, Solaris и, разумеется, Windows. Таким образом, данная программа не ограничена какой-либо операционной системой, что является преимуществом, если кому-то нравится определенная операционная система в силу личных предпочтений.

Многоуровневые форматы модуляции являются основой многих цифровых стандартов связи, таких как: 802.11a/b/g/n, ZigBee (802.15.4), WiMAX(802.16), спутниковая связь, коммерческое радиовещание и др. Поэтому является важным исследовать возможные методы создания виртуальной измерительной лаборатории, с целью дальнейшего ее использования для исследования сигналов с многоуровневой модуляцией.

Организовать данную лабораторию можно при использовании стандартного пакета LabVIEW и дополнительного набора LabVIEW Modulation Toolkit. National Instruments Modulation Toolkit расширяет возможности LabVIEW и вводит дополнительные функции и инструменты для генерации сигналов, анализа, визуализации и обработки стандартных и нестандартных цифровых и аналоговых форматов модуляции.

Программная платформа LabVIEW, рассмотренная в данной работе, применяемая в сочетании с продуктами компании National Instruments, позволяет уйти от использования большинства аналогового оборудования, упростить и ускорить работу по обработке и сбору данных, объединить различные приборы в один многофункциональный комплекс с удобным управлением через ПК.

Выполнено в рамках проекта ГПО РТС-1001 – «Создание аппаратно-программных средств для кодирования и шифрования информации в мобильных сетях связи, 802.11, 802.16, 802.15, DVB».

ЛИТЕРАТУРА

1. Евдокимов Ю.К., Лидваль В.Р., Щербаков Г.И. LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора: Практик. руководство для работы в программе LabVIEW. М.: ДМК-Пресс, 2007. 400 с.
2. Суранов А.А. LabVIEW 8.20: Справочник по функциям. М.: ДМК-Пресс, 2008. 536 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ AES И ЕГО АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

*Ю. Д. Кузьменко, студент 3-го курса,
г. Томск, ТУСУР, каф. ПТС, gol@rts.tusur.ru*

Целью проекта является исследование алгоритма криптографической защиты AES с его последующей реализацией в виде программно аппаратного комплекса, выполняющего шифрование и дешифрование данных. Сейчас важную роль в жизни человека играет информация. За счет увеличения пользования человеком различными электронными ресурсами существует опасность кражи данных. На пути ускорения производственных, экономических и жизненных процессов все большая роль отводится информации. В нашу жизнь плотно вошли такие понятия, как персональные данные, коммерческая тайна, служба безопасности предприятий. Наша жизнь все больше зависит от информации и ее достоверности.

На пути сохранения достоверности информации внимание специалистов все больше обращается к криптографической защите данных.

Стандарт криптографической защиты AES (Advanced Encryption Standard – усовершенствованный стандарт шифрования) является наиболее надежным с точки зрения длины ключа и, как следствие, наиболее востребованным.

Если взглянуть на любую деятельность человека, где есть место для коммерческой информации, мы можем встретить стандарт криптографической защиты AES, будь то телекоммуникация, где нормой стало использование модулей шифрования, или передача данных через электронную почту и т.д.

Алгоритм AES представляет собой блок данных байтового массива размером 4×4 , все операции производятся над отдельными байтами массива, а также над независимыми столбцами и строками. Алгоритм AES позволяет шифровать данные 128-битными блоками, а также блоками по 192 или 256 бит.

Шифрование в данном алгоритме производится раундами. В каждом раунде производятся следующие преобразования:

SubBytes – замена каждого байта массива данных.

ShiftRows – выполняет циклический сдвиг влево всех строк массива за исключением нулевой. Сдвиг i -й строки массива производится на i байтов.

MixColumns – производит смешивание столбцов.

AddRoundKey – выполняет наложение на массив данных ключа. А именно, на некоторый столбец массива данных побитовой логической

операцией «исключающее или» (XOR) накладывается ключ и в результате получается зашифрованное сообщение (рис. 1).

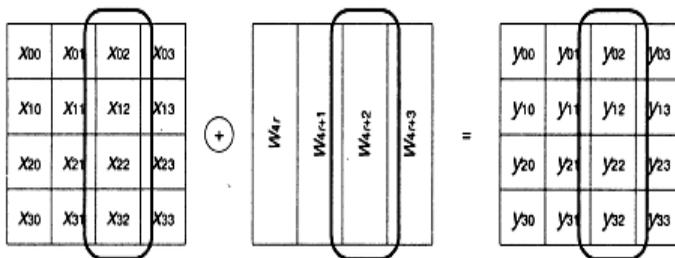


Рис. 1. Операция AddRoundKey

Между длиной ключа и количеством раундов существует связь: чем длиннее ключ, тем больше раундов (таблица).

Зависимость количества раундов от длины ключа

Размер ключа, бит	Количество раундов
128	10
192	12
256	14

Расшифрование выполняется применением обратных шифрованию операций в обратной последовательности.

Возможности AES:

Обрабатываемые данные могут представляться не только в виде массива размером 4×4, но и 4×6 или 4×8 для 192- и 256-битных блоков соответственно

Количество раундов зависит не только от размера ключа но и от размера блока.

Количество битов сдвига строк зависит от размера блока.

Оценка криптостойкости AES:

- у алгоритма отсутствуют слабые ключи, а также возможности его вскрытия с помощью атак на связанных ключах;
- к алгоритму не применим дифференциальный криптоанализ;
- алгоритм не атакуем с помощью линейного криптоанализа и усеченных дифференциалов;
- атака «Квадрат» также не применима к алгоритму AES;
- алгоритм не вскрывается методом интерполяции.

На сегодня AES считается не вскрываемым шифром и все атаки, которые применимы к нему, действуют в случае усеченного ключа

либо меньшего числа раундов в алгоритме. Полный перебор по всему ключевому пространству также бесполезен, так как это занимает очень много времени. AES – быстродействующий алгоритм, и существует возможность поточной реализации алгоритма. Применяя данный алгоритм шифрования, можно довольно надежно защитить передаваемую информацию от злоумышленников. Даже если зашифрованная информация попадет в руки злоумышленников, то пользы без знания ключа из этого они не извлекут.

Выполнено в рамках проекта ГПО РТС-1001 – «Создание аппаратно-программных средств для кодирования и шифрования информации в мобильных сетях связи, 802.11, 802.16, 802.15, DVB».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Панасенко С.П.* Алгоритмы шифрования: Специальный справочник. СПб.: БХВ-Петербург, 2009. 576 с.
2. *Казарин О.В.* Теория и практика защиты информации.
<http://www.natahaus.ru/>
3. *Вельшенбах М.* Криптография на Си и Си++ в действии М.: Триумф, 2004. 464 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПО LABVIEW

И.Ю. Ляпин, студент 5-го курса

г. Томск, ТУСУР, каф. РТС, gol@rts.tusur.ru

В последние годы цифровая обработка и цифровой анализ видеозаписей находят все большее применение в различных областях науки и техники, непосредственно связанных с системами машинного зрения. Аппаратные возможности в области машинного зрения достигли такого уровня, что они уже во многом приближаются к характеристикам человека. Разрешение многих сенсоров для получения видеoinформации практически соответствует числу элементов сетчатки глаза человека, а возможности современных компьютеров и специализированных процессоров близки к характеристикам «вычислительных мощностей», используемых для обработки изображений в мозгу. Со своей стороны биомеханика вплотную подошла к разработке сложных механических манипуляторов, достаточных для имитации моторной деятельности человека по управлению различными техническими системами. И, таким образом, для создания сложных автономных робототехнических комплексов, функционирующих в реальном масштабе времени, стоит необходимость решения большей частью лишь одной

принципиальной задачи – разработка методов и алгоритмов «понимания» изображений.

Одной из фирм, занимающихся выпуском программных продуктов, позволяющих производить обработку видеоизображений, является National Instruments, производящая программное обеспечение NI Vision на основе платформы LabVIEW. Данное ПО предназначено для построения систем машинного зрения, решающих задачи измерений, коррекции, идентификации и детального анализа изображений. Работа с данной программой не требует навыков программирования, поэтому исследователь может сосредоточить внимание на разработке алгоритмов анализа изображений.

С помощью данного ПО мы можем осуществить обработку и анализ изображений путем сведения двумерных задач к одномерным: построение и анализ гистограмм, гистограммная обработка изображений, а также построение и использование профилей и проекций изображения.

Кроме бинаризации полутоновых изображений, на базе использования локальной и глобальной гистограмм могут быть осуществлены алгоритмы адаптивной бинаризации.

Все вышеперечисленные функции могут быть применены для любых изображений, в том числе и цветных. Здесь можно осуществить построение и визуализацию гистограммы цветного изображения, а также произвести пороговую бинаризацию по каждой из трех цветовых плоскостей.

Широкое применение в наше время нашел такой метод обработки, как построение и анализ профиля вдоль линии, на котором основан метод считывания штрихкодов. Данный метод наряду с методом построения проекции и анализа проекции реализован в LabVIEW.

Вторая группа методов обработки изображений в данном программном продукте – это фильтрация изображений, которая включает любые процедуры обработки изображений, при которых на вход подается растровое изображение и на выходе формируется тоже растровое изображение. С помощью данного ПО осуществляется как ранговая нелинейная фильтрация и выделение объекта, так и линейная фильтрация в пространственной (скользящее среднее в окне, гауссовская фильтрация) и частотной (анализ Фурье) областях. Альтернативой Фурье-анализа может послужить вейвлет-анализ, который позволяет иметь сразу и частотную, и пространственную информацию.

Для выделения контуров, краев на изображении в LabVIEW имеются особая группа функций, основанных на следующих операторах: оператор вычисления производных, оператор вычисления векторов градиентов, операторы Марра и Лапласа.

Обработку изображений всеми рассмотренными выше способами можно осуществлять не только глобально (применительно ко всему изображению, поступающему на вход системы), но и локально (применительно к конкретной области изображения).

С помощью программного обеспечения ПО LabVIEW осуществимы любые методы обработки изображений, проектировщику остается лишь разработать нужный алгоритм и соединить блоки в нужной последовательности. Данное ПО применимо не только как мощный программный продукт в промышленных целях, но и как учебный комплекс, позволяющий визуально изучить методы обработки изображений.

Выполнено в рамках проекта ГПО РТС-0901 – «Разработка и создание аппаратно-программных средств защиты сетей и систем связи».

ЛИТЕРАТУРА

1. Федосов В.П., Нестеренко А.К. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW: учеб. пособие. М.: ДМК Пресс, 2007. 456 с.
2. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision. М.: ДМК Пресс, 2007. 464 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ГОСТ 28147-89 И ЕГО АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

С.С. Логинов, студент 3-го курса

г. Томск, ТУСУР, каф. РТС, gol@rts.tusur.ru

Целью данной работы является изучение свойств и методов построения алгоритма криптографической защиты ГОСТ 28147-89 и его программная и программно-аппаратная реализация для защиты информации, хранимой на носителях или передаваемой по Сети.

ГОСТ 28147-89 – советский и российский стандарт симметричного шифрования, введенный в 1990 г., также является стандартом СНГ. Полное название – «ГОСТ 28147-89. Системы обработки информации. Защита криптографическая. Алгоритм криптографического преобразования». С момента опубликования ГОСТа на нём стоял ограничительный гриф «Для служебного пользования», и формально шифр был объявлен «полностью открытым» только в мае 1994 г.

Алгоритм криптографического преобразования предназначен для аппаратной или программной реализации, удовлетворяет криптографическим требованиям и по своим возможностям не накладывает ограничений на степень секретности защищаемой информации.

Стандарт обязателен для организаций, предприятий и учреждений, применяющих криптографическую защиту данных, хранимых и передаваемых в сетях, отдельных вычислительных комплексах или на персональных носителях.

Алгоритм ГОСТ 28147–89 является *блочным шифром* – разновидностью симметричного шифра (*симметричное шифрование* – способ шифрования, в котором для зашифровки и расшифровывания применяется один и тот же криптографический ключ). Особенностью блочного шифра является обработка блока нескольких байт за одну итерацию (цикл преобразования).

Если внимательно изучить оригинал ГОСТ 28147–89, можно заметить, что в нем содержится описание алгоритмов нескольких уровней. На самом верхнем находятся практические алгоритмы, предназначенные для шифрования массивов данных и выработки для них имитовставки. Все они опираются на три алгоритма низшего уровня, называемых в тексте ГОСТа циклами. Эти фундаментальные алгоритмы будут называться «базовые циклы», чтобы отличать их от всех прочих циклов. Они имеют следующие названия и обозначения (последние приведены в скобках):

1. цикл зашифрования (32-3);
2. цикл расшифрования (32-Р);
3. цикл выработки имитовставки (16-3).

В свою очередь, каждый из базовых циклов представляет собой многократное повторение одной единственной процедуры, называемой «основным шагом криптопреобразования».

В ГОСТе ключевая информация состоит из двух структур данных. Помимо собственно ключа, необходимого для всех шифров, она содержит еще и таблицу замен.

ГОСТ 28147–89 предусматривает три следующих режима шифрования данных:

- простая замена;
- гаммирование;
- гаммирование с обратной связью;
- дополнительный режим выработки имитовставки.

Имитоприставка – это криптографическая контрольная сумма информации, вычисляемая с использованием ключа шифрования и зависящая от открытых данных и секретной ключевой информации.

В 1994 г. описание алгоритма ГОСТ 28147–89 было переведено на английский язык и опубликовано в статье Волонгонгского университета (Австралия) «Советский алгоритм шифрования». Именно после этого стали появляться результаты его анализа, выполненного зарубежными специалистами; однако в течение значительного времени не бы-

ло найдено каких-либо атак, приближающихся к практически осуществимым.

Модификации алгоритма:

1. GOST-H, в котором, относительно оригинального алгоритма, изменен порядок использования подключей, а именно, в раундах с 25-го по 32-й подключи используются в прямом порядке, т.е. точно так же, как и в предыдущих раундах алгоритма.

2. 20-раундовый алгоритм GOSTA, в раунде которого для наложения ключа используется операция XOR вместо сложения по модулю 2^{32} .

По результатам анализа сделан вывод о том, что GOST-H и GOSTA слабее исходного алгоритма ГОСТ 28147–89, поскольку оба имеют классы слабых ключей.

Существуют атаки и на полнораундовый ГОСТ 28147–89 без каких-либо модификаций. Одна из первых открытых работ, в которых был проведен анализ алгоритма посвящена атакам, использующим слабости процедур расширения ключа ряда известных алгоритмов шифрования. В частности, полнораундовый алгоритм ГОСТ 28147–89 может быть вскрыт с помощью дифференциального криптоанализа на связанных ключах, но только в случае использования слабых таблиц замен. 24-раундовый вариант алгоритма (в котором отсутствуют первые 8 раундов) вскрывается аналогичным образом при любых таблицах замен, однако сильные таблицы замен делают такую атаку абсолютно непрактичной.

Отечественные ученые А.Г. Ростовцев и Е.Б. Маховенко в 2001 г. предложили принципиально новый метод криптоанализа (по мнению авторов, существенно более эффективный, чем линейный и дифференциальный криптоанализы) путем формирования целевой функции от известного открытого текста, соответствующего ему шифртекста и искомого значения ключа и нахождения ее экстремума, соответствующего истинному значению ключа. Они же нашли большой класс слабых ключей алгоритма ГОСТ 28147–89, которые позволяют вскрыть алгоритм с помощью всего 4 выбранных открытых текстов и соответствующих им шифртекстов с достаточно низкой сложностью.

В 2004 г. группа специалистов из Кореи предложила атаку, с помощью которой, используя дифференциальный криптоанализ на связанных ключах, можно получить с вероятностью 91,7% 12 бит секретного ключа. Для атаки требуется 2^{35} выбранных открытых текстов и 2^{36} операций шифрования. Как видно, данная атака практически бесполезна для реального вскрытия алгоритма.

В дальнейшем планируется создание программно-аппаратных шифраторов на базе цифрового сигнального процессора, не уступающих по своим характеристикам шифровальным комплексам «Криптон».

Также планируется рассмотрение возможности использования ГОСТа для создания поточного сетевого шифратора.

Выполнено в рамках проекта ГПО РТС-1001 – «Создание аппаратно-программных средств для кодирования и шифрования информации в мобильных сетях связи, 802.11, 802.16, 802.15, DVВ».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ракитин В.В., Панасенко С.П.* Аппаратные шифраторы // Мир ПК. 2002. № 8.
2. *Панасенко С.П.* Комплексная защита информации на базе аппаратных шифраторов // Вопросы защиты информации. 2003. № 4.
3. *Панасенко С.П.* Аппаратное шифрование для ПК // ВУТЕ. 2003. № 4.
4. *Лукашов И.* Аппаратные шифраторы на отечественной элементной базе // Электроника. 2001. № 6.
5. *Шайдеманн Ф.* Прозрачное шифрование файлов // Журнал сетевых решений/LAN http://www.osp.ru/lan/2005/12/377625/_p1.html
6. *Винокуров А.* Алгоритм шифрования ГОСТ 28147–89, его использование и программная реализация для компьютеров платформы Intel x86.
7. *Панасенко С.П.* Стандарт шифрования ГОСТ 28147–89. 15 августа 2007 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАЗВЕРТЫВАНИЯ СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ MICROSOFT WINDOWS SERVER 2003

*К.В. Лыскова, студентка 4-го курса
г. Томск, ТУСУР, каф. РТС, gol@rts.tusur.ru*

Объектом исследования является сетевая операционная система для серверов Microsoft Windows Server 2003.

Цель работы: разработать комплекс связанных лабораторных работ, направленный на проектирование, внедрение, управление и поддержку сетевой инфраструктуры Microsoft Windows Server 2003.

Данный комплекс работ может рассматриваться как одна из возможных реализаций по развертыванию ИТ-инфраструктуры небольшого предприятия.

ИТ-инфраструктура – это комплекс взаимосвязанных систем передачи данных, аппаратных и программных информационных систем, служб и набор средств управления настольными и переносными компьютерами, серверами, системами хранения данных, сетевыми устройствами, операционными системами и приложениями, удовлетворяющих потребностям бизнеса, действующих в режиме повышенной готовности, отказоустойчивости и безопасности и имеющих потенциал

для масштабирования, не снижающего эффективность управления информационной системой.

Внедрение информационных технологий сопровождается повышенными требованиями к адаптивности, производительности и масштабируемости оборудования, к защите информации и доступности данных и приложений, к надежности эксплуатации.

Сервер будет хранить централизованную базу учетных записей пользователей, политики безопасности, а также предоставлять сервисы назначения IP-адресов клиентским компьютерам (DHCP) и разрешения имен (DNS). Также этот сервер будет выполнять функции файлового сервера, сервера печати и почтового сервера (MS Exchange Server).

В качестве централизованного средства администрирования и управления сетевой средой используется служба каталогов Active Directory. Для работы Active Directory требуется служба DNS, поэтому контроллер домена Domain Controller является также сервером DNS, который, в свою очередь, является основным методом разрешения имен хостов в сети.

Для назначения IP-конфигурации рабочим станциям внутренней сети и беспроводным клиентам применяется служба DHCP.

Характерные этапы установки Windows Server 2003 описаны в виде лабораторной работы. После установки и активации Windows можно настроить сервер, используя страницу управления данным сервером (Manage Your Server), которая автоматически открывается при входе в систему. Эта страница упрощает установку некоторых служб, инструментов и конфигураций в зависимости от роли сервера.

Домен – это база данных, содержащая сведения о всех объектах, имеющих значение для функционирования сети: регистрационные данные пользователей и групп, учетные записи компьютеров, принтеров и других сетевых устройств.

Active Directory (AD) – это иерархически организованное хранилище, которое предоставляет удобный доступ к сведениям о различных объектах сети, помогая пользователям и приложениям найти эти объекты.

Компьютер, на котором работает сервер каталога, называется контроллером домена; иными словами, контроллер домена – это компьютер, на котором размещена вся база данных Active Directory. Все запросы к активному каталогу и вообще все запросы, касающиеся доступа к информации, хранящейся в домене, обрабатывает именно этот компьютер.

Роль управления доменом – настолько важная в сети функция, что от нее напрямую зависит работа сети. Поэтому и доступ к контролле-

рам домена (DC, Domain Controller) разрешается с большей осторожностью, чем к остальным.

На базе Windows Server 2003 построено несколько лабораторных работ для студентов. Целью лабораторной работы №1 является настройка компьютера для работы под управлением Windows Server 2003.

Лабораторная работа № 2. Настройка DNS-сервера. Целями данной работы являются – научить студентов конфигурировать зоны DNS и научить тестировать службу DNS.

Зона DNS – это непрерывная часть пространства имен, обслуживаемая полномочным сервером. Сервер может быть полномочным в одной или нескольких зонах, а зона может содержать один или несколько смежных доменов. Сервер DNS является полномочным для зоны, если он обслуживает ее в качестве основного или дополнительного DNS-сервера. Зона DNS хранит записи ресурсов, необходимые для ответов на запросы в пределах своей части пространства имен DNS.

Лабораторная работа № 3. Настройка DHCP-сервера. Цель работы: научить студентов настраивать область действия DHCP-сервера.

Сервер DHCP слушает запросы клиентов на автоматическую настройку протокола IP и отвечает на них предложением набора конфигурационных параметров. Клиентский запрос может быть либо требованием полной настройки, либо просьбой о разрешении продолжать использовать имеющуюся конфигурацию.

Если в сети работает служба DHCP, то администратор не рискует ошибиться при настройке протокола IP на отдельных компьютерах или случайно назначить им одинаковые IP-адреса. Чтобы перевести сеть с ручной адресации на динамическую, нужно не только установить и настроить сервер DHCP, но и изменить способ адресации протокола IP на всех узлах сети.

Область DHCP – это непрерывный диапазон IP-адресов, определенных в единой логической подсети, которые DHCP-сервер предоставляет клиентам. После определения и настройки области ее надо активировать – только после этого DHCP-сервер сможет обслуживать клиентов.

Заключение. Совместная, связанная работа всех звеньев ИТ-системы, их функциональная и техническая совместимость, а также оптимизация в работе и удобство в использовании являются основными требованиями, предъявляемыми к современной качественной ИТ-инфраструктуре.

Создание и обеспечение стабильного функционирования ИТ-инфраструктуры – это многогранный процесс, который необходимо планировать изначально и лучше всего осуществлять в комплексе.

Выполнено в рамках проекта ГПО РТС-0902 – «Разработка и создание аппаратно-программных средств защиты в информационных системах».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Шетка Петр*. Microsoft Windows Server 2003. Практическое руководство по настройке сети. СПб.: Наука и техника, 2006. 600 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАЗВЕРТЫВАНИЯ И АДМИНИСТРИРОВАНИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ WEB-СЕРВЕРА IIS 7.0 НА WINDOWS SERVER 2008 R2

Г.В. Нефедьев, студент 4-го курса

г. Томск, ТУСУР, каф. РТС, gol@rts.tusur.ru

Целью данной работы является создание WEB-сервера IIS 7.0 на WINDOWS SERVER 2008 R2, а также приобретение студентами знаний и навыков, необходимых для установки, настройки и администрирования IIS 7.0 на WINDOWS SERVER 2008 R2.

Internet Information Services 7.0 (IIS 7.0) – это последняя версия WEB-сервера компании Microsoft. IIS был включен в состав операционного семейства операционных систем Windows Server, начиная с операционной системы Windows 2000 Server в качестве компонента Windows Component, а также для Windows NT в качестве дополнения. IIS 7.0 входит в состав операционных систем Windows Vista и Windows Server 2008. IIS 7.0 был спроектирован, чтобы быть самой безопасной и гибкой платформой для веб-приложений от компании Microsoft. Компания Microsoft сфокусировалась на модульности при создании IIS 7.0, что означает, что для установки необходимы лишь бинарные файлы, что минимизирует пространство для атак на веб-сервер. Кроме изменений в основных компонентах IIS 7.0, была также изменена архитектура – в основе использовался модульный дизайн.

Модульный дизайн обеспечивает больше гибкости и безопасности для IIS 7.0 по сравнению с предыдущими версиями IIS. Основное преимущество нового модульного дизайна заключается в том, что он помогает снизить опорную поверхность, что обеспечивает большую безопасность платформы для веб-сервера, т.к. в этом случае минимизируется поверхность для атак. Существует несколько способов для администрирования IIS 7.0:

- графический интерфейс GUI с помощью менеджера IIS Manager;
- инструмент командной строки APPCMD;

- удаленное администрирование (Remote administration) с помощью IIS Manager;
- написание сценариев с помощью Windows PowerShell;
- интерфейс Microsoft.Web.Administration API interface;
- конфигурация значительно упростилась, и теперь она основана на распределенных xml-файлах, которые содержат конфигурационные параметры для всего IIS и ASP.NET.

Основные конфигурационные файлы xml в IIS 7.0 – это:

1. Applicationhost.config.
2. Global web.config.
3. Machine.config.
4. Site web.config.
5. App web.config.

Благодаря использованию конфигурационных файлов в формате xml установка и масштабирование в больших средах значительно оптимизировалась. Теперь достаточно просто скопировать конфигурацию IIS на новый сервер и просто запустить его.

Благодаря изменению дизайна IIS компания Microsoft сделала IIS 7.0 лучшим веб-сервером для всех, начиная со специалистов по информационным технологиям ИТ и разработчиков до Web Hosters. Я попытался выделить несколько причин, по которым считают, что IIS 7.0 является очень мощным продуктом:

1. Продукт стал более безопасным – можно устанавливать только бинарные файлы/
2. Он расширяем и гибок благодаря использованию новой модульной архитектуре/
3. Он стал более масштабируемым благодаря упрощению настройки, для которой теперь используются файлы в формате xml/
4. Улучшение производительности благодаря улучшениям в ядре IIS (http.sys).

Выполнено в рамках проекта ГПО РТС-0902 – «Разработка и создание аппаратно-программных средств защиты в информационных системах».

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://technet.microsoft.com/ru-ru/magazine/2008.03.iis7.aspx>
2. <http://server-help.ru/?p=14>
3. <http://www.techdays.ru/videos/1152.html>
4. <http://www.cyberguru.ru/web/web-servers/iis7-begin.html>

ИССЛЕДОВАНИЕ ВСТРОЕННЫХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ MICROSOFT ISA SERVER 2006

*М.Т. Немтаев, студент 4-го курса
г. Томск, ТУСУР, каф. ПТС, gol@rts.tusur.ru*

Целью данной работы являются разработка политики (правил доступа) межсетевого экрана ISA Server 2006 с использованием его встроенных средств обеспечения информационной безопасности и построение VPN-сети для организации защищенного удаленного доступа к ресурсам кафедральной сети, а также приобретение знаний и навыков, необходимых для установки, настройки и администрирования Microsoft® Internet Security and Acceleration (ISA) Server 2006, рассматриваемого как часть инфраструктуры защиты кафедральной сети.

Сервер Microsoft ISA (Internet Security and Acceleration) Server 2006 – это решение, объединяющее в себе усовершенствованный межсетевой экран уровня приложений, средства организации и управления виртуальной частной сетью и службу кэширования веб-данных, использование которого позволяет повысить эффективность вложений в информационные технологии путем повышения безопасности и производительности локальной сети.

Политика доступа межсетевого экрана ISA (известная также как политика брандмауэра) включает правила публикации Web-сервера (Web Publishing Rules), правила публикации сервера (Server Publishing Rules) и правила доступа (Access Rules). Правила публикации Web-сервера и обычного сервера используются для предоставления входящего доступа (inbound access), а правила доступа применяются для управления исходящим доступом (outbound access).

Главная задача брандмауэра ISA – контроль трафика между сетью-источником информации и сетью-адресатом. Политика доступа (Access Policy) брандмауэра ISA позволяет клиентам сети-источника получить доступ к хостам сети-адресата информации, а правила доступа можно сконфигурировать для блокировки соединений хостов исходной сети с хостами сети-адресата. Политика доступа определяет способ доступа хостов к хостам других сетей.

В брандмауэр ISA включены следующие элементы политики:

1. протоколы;
2. наборы пользователей;
3. типы содержимого;
4. расписания или часы работы;
5. сетевые объекты.

Как брандмауэр ISA Server поддерживает множество фильтров, пакетов, каналов и приложений, что позволяет дать доступ только к

явно указанным ресурсам в случае необходимости. Используя комбинацию фильтров, можно защитить данные даже тогда, когда протоколы, по которым происходит связь, сами по себе являются небезопасными. Также брандмауэр способен определять вторжение в автоматическом режиме по заранее заданным шаблонам.

Брандмауэр ISA может обнаруживать и предотвращать наиболее распространенные сетевые атаки.

- **Атаки отказов от обслуживания**

Атаки отказов от обслуживания (Denial-of-service, DoS-атака) особенно популярны у интернет-хакеров, стремящихся нарушить сетевые операции. Хотя эти атаки не разрушают и не крадут данные, как делают некоторые атаки других типов, цель злоумышленника, запускающего атаку DoS, – вывести сеть из строя и вызвать отказ от обслуживания ее законных пользователей.

- **Ping of Death**

Другой тип DoS-атаки, на обнаружение которой можно настроить ISA Server, – так называемый «Ping смерти» (также известный как «пингование большими пакетами»). Атака «Ping смерти» проводится созданием IP-пакета, большего чем 65 536 байтов, максимума, разрешенного IP-спецификацией (иногда такой пакет называют «пакетом-убийцей»). Он может вызвать аварийный сбой, зависание или перезагрузку системы.

Брандмауэр ISA позволяет включить специальное обнаружение атак «Ping смерти».

- **Атака Mail Bomb**

Атака «почтовая бомба» (mail bomb) – средство переполнения почтового сервера, вызывающее остановку его функционирования и тем самым отказ от обслуживания пользователей. Это относительно простая разновидность атаки, выполняемая с помощью отправки большого массива сообщений электронной почты конкретному пользователю или системе.

Постоянный рост популярности виртуальных частных сетей (VPN) превратил их в стандарт для компаний, имеющих надомных работников, администраторов и продавцов, которым необходим доступ к сети вне офиса, а также партнеров и клиентов, нуждающихся в доступе к ресурсам корпоративной сети. Задача VPN – разрешить удаленный доступ к ресурсам корпоративной сети, которые в противном случае могут быть доступными только при непосредственном подключении пользователя к локальной сети. С помощью VPN-соединения пользователь получает «виртуальное» конфигурации узел-в-узел соединение удаленного VPN-пользователя с корпоративной сетью. Поль-

зователь может работать так, как будто он (она) находится в офисе; приложения и сервисы, выполняющиеся на компьютерах пользователей, интерпретируют VPN-линию связи как типичное соединение Ethernet. Интернет, через который клиент соединяется с корпоративной сетью, полностью скрыт от пользователей и приложений (прозрачен для них).

В ISA Server 2006 существенно усовершенствованы VPN-компоненты, которые включены в состав брандмауэра из сервиса Routing and Remote Access (RRAS) операционных систем Windows 2000 и Windows Server 2003. Теперь администратор имеет возможность конфигурировать VPN-сервер и шлюзовые компоненты и управлять ими непосредственно на консоли управления брандмауэра ISA Server 2006, не переключаясь между консолью управления ISA MMC и консолью управления RRAS MMC. Вам очень редко понадобится консоль сервиса маршрутизации и удаленного доступа для конфигурирования VPN-компонентов.

К другим усовершенствованиям функциональных возможностей использования VPN в ISA Server 2006 можно отнести следующие:

1. политика брандмауэра, применяемая к соединениям VPN-клиентов;
2. политика брандмауэра, применяемая к VPN-соединениям конфигурации узел-в-узел;
3. VPN-карантин или временная изоляция;
4. отображение пользователей для VPN-клиентов;
5. поддержка клиентов SecureNAT для VPN-соединений;
6. виртуальная частная сеть конфигурации «узел-в-узел» с применением туннельного режима протокола IPSec;
7. публикация VPN-серверов по протоколу PPTP (Point-to-Point Tunneling Protocol, сквозной туннельный протокол);
8. поддержка аутентификации секретным ключом Pre-shared Key для VPN-соединений по протоколу IPSec;
9. улучшенная работа сервера имен для VPN-клиентов;
10. мониторинг соединений VPN-клиентов.

Защита границ корпоративной сети предприятия от внешних угроз, контроль входящего и исходящего интернет-трафика и маршрутизация внутри локальных подсетей являются важными элементами системы безопасности. С каждым разом угроза заражения данных вирусами и уровень хакерских атак на сеть возрастают, а нерадивые пользователи стремятся «обойти» установленные ограничения. Решить задачи по контролю маршрутизации пакетов можно с помощью профессиональных программных брандмауэров.

Одним из таких решений является Microsoft Internet Security and Acceleration Server 2006 (ISA Server). Этот брандмауэр может контролировать сетевой трафик на пяти уровнях стека протоколов TCP/IP, кроме канального и физического уровней. Он способен контролировать не только заголовки пакетов, но и раскрывать их содержимое, анализировать скрытую информацию. Этой системой также, безусловно, поддерживается контроль адресов пакетов.

Также ISA Server можно использовать в качестве прокси. Он способен кэшировать содержимое внешних Web-узлов. При этом их содержимое будет сохраняться в локальной сети. В случае повторного обращения пользователей к внешнему Web-серверу ответ даст ISA Server компании, что существенно разгрузит внешний канал связи. Его кэш достаточно производительен, т.к. содержимое сохраняется не только на жестких дисках, но и в оперативной памяти сервера. При этом сам кэш представляет собой единый индексированный файл, что существенно ускоряет поиск нужной информации. Кэшировать объекты можно по расписанию.

Это полезно, если клиенты корпоративной сети часто пользуются одним и тем же сайтом, информация на котором меняется. В этом случае ISA Server может загружать новую версию сайта раз в несколько минут, предоставляя пользователям максимально адекватную времени информацию. В случае если на предприятии используются несколько ISA Server, между ними можно распределить задачи по кэшированию.

ISA Server имеет очень гибкий инструмент по настройке внутренней и внешней сетевой топологии. Этот элемент является важным, т.к. позволяет отделить внутренние сети от внешних и применять различные политики доступа к различным сетевым сегментам. Компьютеры объединяются в группы в соответствии с диапазонами адресов, что позволяет в настройках ISA Server создать максимально точную модель корпоративной сетевой топологии. Поэтому можно управлять потоками данных не только между внутренней сетью и внешним Интернетом, но и между отдельными сетевыми сегментами предприятия.

Итак, Microsoft Internet Security and Acceleration Server 2006 (ISA Server) предлагает интуитивно понятный и гибкий инструментарий, который можно успешно и эффективно использовать для защиты локальной сети. Политика предназначена для пользователей сети, занимающихся, в основном, веб-серфингом и работой с электронной почтой.

Выполнено в рамках проекта ГПО РТС-0902 – «Разработка и создание аппаратно-программных средств защиты в информационных системах».

ЛИТЕРАТУРА

1. Томас В. Шиндер, Дебра Л. Шиндер. ISA Server 2004. СПб.: БХВ-Петербург, Русская Редакция, 2005. 1064 с.
2. <http://www.microsoft.com>
3. <http://www.isadocs.ru>
4. <http://www.isaserver.ru>

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ СКРЕМБЛИРОВАНИЯ И СТЕГАНОГРАФИИ И ИХ АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Н.Н. Нестеренко, студент 3-го курса

г. Томск, ТУСУР, каф. РТС, gol@rts.tusur.ru

Целью данной работы являются изучение алгоритмов скремблирования, стеганографии и их аппаратно-программная реализация. Скремблирование – это обратимое преобразование цифрового потока без изменения скорости передачи с целью получения свойств случайной последовательности. После скремблирования появление «1» и «0» в выходной последовательности равновероятны. Скремблирование – обратимый процесс, т.е. исходное сообщение можно восстановить, применив обратный алгоритм.

Преобразования с инверсией спектра и статическими перестановками спектральных компонент речевого сигнала. Схема инвертора представляет собой балансный смеситель. При частоте гетеродина F_r , равной сумме граничных частот F_n и F_b преобразуемого сигнала (3700 Гц для стандартного телефонного канала с $F_n = 300$ Гц и $F_b = 3400$ Гц), нижняя полоса частот после смесителя воспроизводится в исходной полосе частот, т.е. в полосе канала в инверсном виде. При приеме производится повторная инверсия и исходный сигнал восстанавливается.

Процесс преобразования с фиксированными перестановками спектральных компонент речевого сигнала при передаче и его восстановления при приеме. При таком преобразовании разборчивость речевого сигнала нарушается в значительно большей степени, чем при простой инверсии. Следует, однако, учитывать, что выбор вариантов частотных перестановок весьма ограничен. Фильтры, выделяющие частотные полосы в исходном и в линейном сигнале, имеют конечную крутизну характеристики, в результате чего на заметном частотном интервале в окрестности границы частотных полос будет происходить заметное невозстановимое смещение различных компонент сигнала.

Преобразования с временными перестановками (скремблированием) и временной инверсией элементов речевого сигнала со статическим законом перестановки. Принцип работы аппаратуры сходен с разрушением и последующим восстановлением мозаичной картины, что обусловило появление названия «аппаратура мозаичных преобразований».

Данный класс аппаратуры требует наличия в своем составе блока запоминания сигнала с управляемым доступом по записи и считыванию, поэтому аналоговой такую аппаратуру можно назвать условно. Временная перестановка элементарных отрезков речевого сигнала и восстановление их последовательности на приеме занимают соответствующий интервал времени. Поэтому обязательным свойством такой аппаратуры является заметная задержка сигнала на приемной стороне.

Преобразования с временными или частотными перестановками (скремблированием) с переменными перестановками под управлением криптоблока и комбинированные мозаичные преобразования. Применение переменных перестановок позволяет значительно затруднить восстановление исходной речи по перехвату сигнала в канале. При правильном выборе криптоалгоритма удачный подбор перестановки на одном интервале никак не способствует подбору перестановки на последующих интервалах. Кроме того, введение криптоалгоритма с индивидуальным ключом исключает возможность использования для перехвата однотипного аппарата.

Скремблирование цифрового сигнала. Суть скремблирования заключается в побитном изменении проходящего через систему потока данных. Практически единственной операцией, используемой в скремблерах, является XOR – «побитное, исключающее ИЛИ». Параллельно прохождению информационного потока в скремблере по определенному правилу генерируется поток бит – кодирующий поток. Как прямое, так и обратное шифрование осуществляются наложением по XOR кодирующей последовательности на исходную.

Стеганография – это наука о скрытой передаче информации путём сохранения в тайне самого факта передачи.

В отличие от криптографии, которая скрывает содержимое секретного сообщения, стеганография скрывает само его существование. Стеганографию обычно используют совместно с методами криптографии, таким образом, дополняя её.

Цифровые сигнальные процессоры. Сигнальный процессор ADSP-TS101S. Это высокопроизводительный 32-разрядный цифровой сигнальный процессор. В отличие от ряда других существующих на мировом рынке 32-разрядных процессоров обработки сигналов, SHARC-архитектура практически не имеет «узких мест», ограничивающих ее

производительность. Все процессоры этого семейства состоят из пяти основных частей – высокопроизводительного ядра, двупортового статического ОЗУ большого объема, мощного процессора ввода/вывода и порта связи с внешним миром, объединенных внутренними разделенными шинами команд и данных.

Особенности процессора ADSP-TS101S:

1. Быстрая, гибкая арифметика.
2. Непрерывный поток данных.
3. 40-разрядная повышенная точность.
4. Два генератора адреса.
5. Эффективная работа программного автомата.

Дополнительные характеристики системы:

1. Языки высокого уровня.
2. Возможности последовательного сканирования и эмуляции.
3. Форматы данных стандарта IEEE.

Ядро процессора ADSP-TS101S:

- Вычислительные устройства.
- Регистровый файл данных.
- Программный автомат и генераторы адреса данных.
- Кэш команд.
- Прерывания.
- Таймер.
- Шины ядра процессора.
- Внутренняя передача данных.

Программно-аппаратный комплекс на базе сигнального процессора ADDS-TS101S-EZLITE.

При разработке скремблера необходимо создать программную и аппаратную части. Основой аппаратной части будет служить отладочный комплекс на базе цифрового сигнального процессора ADDS-TS101S-EZLITE (SHARC – Super Harvard ARchitecture Computer).

Установка ADDS-TS101S-EZLITE

Установка программного обеспечения. В состав EZ-KIT Lite включен диск для установки программного обеспечения. Запуск программы установки должен производиться в среде Windows™. Программа инсталляции создаст требуемые директории и поддиректории и установит соответствующие файлы.

Общая структурная схема скремблера на базе сигнального процессора. Источником информации для скремблера может быть аналоговый сигнал (звуковой сигнал) стандартной полосы 3.1 кГц. Он оцифровывается АЦП, которое встроено в плату EZ-KIT Lite, с частотой 8 кГц и выборкой 8 бит на отсчет. Таким образом получаем стан-

дартный цифровой поток 64 кГц, который поступает на регистр R1. Возможен вариант обработки цифрового сигнала, который поступает на вход скремблера, минуя АЦП. Цифровой сигнал может поступать со скоростями 64, 128, 256 кГц. Скорость обработки определяется на начальном этапе после включения, в момент синхронизации. АЦП также можно настроить на преобразование с выходным сигналом 128, 256 кГц, но в этом случае необходим программный переход на другой режим работы.

Выполнено в рамках проекта ГПО РТС-1001 – «Создание аппаратно-программных средств для кодирования и шифрования информации в мобильных сетях связи, 802.11, 802.16, 802.15, DVB».

ЛИТЕРАТУРА

1. Микропроцессорные структуры. Инженерные решения / Б.В. Шевкопляс. Дополнение первое: Справочник. М.: Радио и связь, 1993.
2. Проектирование устройств цифровой обработки сигналов с использованием сигнального процессора ADSP 2106x SHARC: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2001.
3. Специализированный процессор для выполнения быстрого преобразования Фурье и обработки сигналов СПФ СМ. Рекламные материалы. М.: ИНЭУМ, 1984.
4. *Остапенко А.Г.* Цифровые процессоры обработки сигналов: Справочник / А.Г. Остапенко, С.И. Лавлинский, А.В. Сушков и др. / Под ред. А.Г. Остапенко. М.: Радио и связь, 1994. 264 с.
5. <http://www.analog.com/ru/>

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ

И.В. Пилюгина, студентка 3-го курса

г. Томск, ТУСУР, каф. РТС, gol@rts.tusur.ru

Электронная коммерция (ЭК) – это разновидность коммерческой деятельности, в которой взаимодействие между ее участниками на всех или некоторых ее этапах осуществляется электронным способом. Иначе говоря, электронная коммерция предполагает взаимодействие между партнерами с использованием информационных технологий (в первую очередь сетевых), что существенно повышает гибкость, эффективность и масштабность бизнес-процессов. Важно отметить, что ЭК включает в себя не только операции, связанные с куплей-продажей товаров и услуг, но и операции, направленные на поддержку извлече-

ния прибыли – создание спроса на товары и услуги, послепродажную поддержку клиентов и т.п.

Электронная коммерция, т.е. технология поддержания внешних бизнес-контактов, – это одна из двух базовых составляющих электронного бизнеса. Вторая составляющая – это комплексная автоматизация внутренней деятельности компании. К электронной коммерции относят: электронный обмен информацией (Electronic Data Interchange, EDI), электронное движение капитала (Electronic Funds Transfer, EFS), электронную торговлю (E-Trade), электронные деньги (E-Cash), электронный маркетинг (E-Marketing), электронный банкинг (E-Banking), электронные страховые услуги (E-Insurance). Существует несколько общепризнанных категорий, на которые подразделяется электронная коммерция. Как правило, такое размежевание проводится по целевой группе потребителей.

Схема В2В, или бизнес–бизнес. Принцип осуществления подобного взаимодействия очень прост: предприятие торгует с другим предприятием. В2В – одно из наиболее перспективных и активно развивающихся направлений электронной коммерции.

Схема В2С, или бизнес–потребитель. В этом случае предприятие торгует уже напрямую с клиентом (не юридическим, а физическим лицом). Как правило, здесь речь идет о розничной реализации товаров.

Схема С2С или потребитель–потребитель

Такой способ осуществления электронной коммерции предполагает совершение сделок между двумя потребителями, ни один из которых не является предпринимателем в юридическом смысле слова.

Преимущества электронной коммерции

Для организаций:

- Глобальный масштаб.
- Сокращение издержек.
- Улучшение цепочек поставок.
- Бизнес всегда открыт (24/7/365).
- Персонализация.
- Быстрый вывод товара на рынок.
- Низкая стоимость распространения цифровых продуктов.

Для потребителей:

- Повсеместность.
- Большой выбор товаров и услуг.
- Персонализация.
- Более дешевые продукты и услуги.
- Оперативная доставка.
- Электронная социализация.

Для общества:

- Широкий перечень предоставляемых услуг (например, образование, здравоохранение, коммунальное обслуживание).
- Повышение уровня жизни.
- Повышение национальной безопасности.
- Уменьшение «цифрового» разрыва.
- Онлайн продажа/заказ товаров/услуг уменьшает автомобильный трафик и снижает загрязнение окружающей среды.

Структура электронной коммерции

Применение современных интернет-технологий в бизнесе не ограничивается созданием web-сайта или электронного каталога с возможностью заказа, а подразумевает использование технологии и накопленного опыта для глубокой перестройки способов ведения деловых операций при помощи Интернета и сопутствующих сетевых компьютерных технологий. Успех реализации модели электронной торговли в Сети определяется тремя составляющими:

- выбор верной технологической платформы;
- наличие конкурентоспособного продукта;
- наличие необходимых бизнес-процессов и инфраструктуры.

Если отсутствует хотя бы одно из этих звеньев, то внедрение современных технологий не приведет к успеху. В первую очередь, использование технологий онлайн-торговли необходимо компаниям, имеющим развитую региональную партнерскую сеть, так как позволит значительно снизить стоимость обработки заказов.

Инструменты, которыми организация может пользоваться для реализации возможностей электронной коммерции, можно условно разделить на 4 группы:

- 1) бизнес-приложения;
- 2) сам интернет-магазин;
- 3) шлюз в EDI-систему;
- 4) связь с финансовыми организациями через различные платежные системы.

Современный рынок интернет-коммерции включает в себя следующих «игроков»:

1. Поставщики технологии (technology providers) – коммуникационные компании, интернет-провайдеры (ISP), компании–производители аппаратного и программного обеспечения (т.е. IT-компании – компании сектора информационных технологий – Information Technology) и др.

2. Поставщики контента (content providers – дословно «поставщики содержания») – компании, занимающиеся поставкой оперативной информации и предоставлением услуг.

Электронные брокеры (e-brokers) – предприятия, предлагающие конечному потребителю доступ к различным продуктам и услугам.

Информационные брокеры обеспечивают доступ к различным информационным базам данных.

Поставщики электронных услуг (e-services providers) – это не «виртуальные офисы» предприятий в Сети, а компании, деятельность которых полностью или большей частью осуществляется в Интернете.

3. Поставщики контекста, или поставщики окружения (context providers), – новая категория посредников, вызванная к жизни развитием интернет-коммерции.

Информационные порталы и службы каталогов (directory services) обеспечивают персонализированный доступ группам пользователей к предметно ориентированным и классифицированным информационным ресурсам.

Электронные торговые площадки (e-marketplace, purchasing platforms) представляют собой порталы, предназначенные для организации электронной торговли. Это Web-сайты, которые сводят вместе покупателей и продавцов.

По способу организации торговли можно выделить электронные торговые ряды (e-mall), агрегаторы (aggregator), электронные аукционы (e-auction house) и биржи.

Агрегаторы – Web-сайты, похожие на универсальные магазины. Они собирают (агрегируют) каталоги множества поставщиков и предлагают их целевым группам пользователей.

Электронные аукционы – «торговые площадки» для проведения аукционов.

Отечественная интернет-биржа INDX (www.indx.ru) – совместный проект ОАО «Гарантийное агентство», International Media Bank AD и Градобанка. INDX предлагает не только прямой доступ к торгам краткосрочными инструментами (trade.indx.ru), но и проводит аукционы (auction.indx.ru) и предоставляет ссуды под обеспечение (zalog.indx.ru).

4. Поставщики обеспечения (enablers, enabling service providers – дословно «те, кто обеспечивает возможность работать») обеспечивают осуществление транзакций в интернет-коммерции.

В традиционном («оффлайновом») бизнесе предприятия обычно самостоятельно занимаются технологическим обеспечением своей деятельности и производством продуктов и услуг («контента»). Дистрибуция произведенных товаров и услуг осуществляется предприятиями самостоятельно или через сеть брокеров и дилеров, а обеспечение исполнения сделок выполняется обычно банковской и правовой системой. Наконец, все экономические отношения привязаны к определенному «контексту»: производство и сделки осуществляются в ус-

ловиях конкретных общественных отношений, в определенном правовом и информационном поле. Таким образом, приведенная выше функциональная классификация агентов рынка электронной коммерции на самом деле является отражением традиционных бизнес-процессов. Просто Интернет сделал возможным диверсификацию их деятельности – своего рода разделение труда.

Выполнено в рамках проекта ГПО РТС-1002 – «Создание защищенной информационной системы электронной коммерции».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Короткевич А.* Интернет-магазин своими руками // Консалтинговая группа md URL: <http://md-bplan.ru/articles/html/article10432.html>
2. *Кривопалов Д.В.* Классификация способов платежей// Информационный сайт Клерк URL: <http://www.klerk.ru/boss/articles/6949/>

РАЗРАБОТКА ЗАЩИЩЕННОГО WEB-СЕРВЕРА ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ

Д.Н. Плютов, студент 4-го курса

г. Томск, ТУСУР, каф. РТС, gol@rts.tusur.ru

Целью данной работы является создание защищенного Web-сервера для систем электронной коммерции. Web-сервер – это сервер, принимающий HTTP-запросы от клиентов, обычно веб-браузеров, и выдающий им HTTP-ответы, обычно вместе с HTML-страницей, изображением, файлом, медиа-потокком или другими данными. Web-серверы – основа Всемирной паутины.

Web-сервером называют как программное обеспечение, выполняющее функции WEB-сервера, так и непосредственно компьютер, на котором это программное обеспечение работает. Клиент, которым обычно является веб-браузер, передает веб-серверу запросы на получение ресурсов, обозначенных URL-адресами. Ресурсы – это HTML-страницы, изображения, файлы, медиа-потокки или другие данные, которые необходимы клиенту. В ответ веб-сервер передает клиенту запрошенные данные. Этот обмен происходит по протоколу HTTP.

Apache является кроссплатформенным ПО, поддерживает операционные системы Linux, BSD, Mac OS, Microsoft Windows, Novell NetWare, BeOS. Основными достоинствами Apache считаются надёжность и гибкость конфигурации. Он позволяет подключать внешние модули для предоставления данных, использовать СУБД для аутентификации пользователей, модифицировать сообщения об ошибках и т.д. Поддерживает IPv6. Сервер был написан в начале 1995 г. и считается,

что его имя восходит к шуточному названию «а patchu» (англ. «заплата»), так как он устранил ошибки популярного тогда сервера Всемирной паутины NCSA HTTPd 1.3. В дальнейшем с версии 2.x сервер был переписан заново и теперь не содержит кода NCSA, но имя осталось. На данный момент разработка ведётся в ветке 2.2, а в версиях 1.3 и 2.0 производятся лишь исправления ошибок безопасности.

Web-сервер Apache разрабатывается и поддерживается открытым сообществом разработчиков под эгидой Apache Software Foundation и включён во многие программные продукты, среди которых СУБД Oracle и IBM WebSphere. С апреля 1996 г. и до настоящего времени является самым популярным HTTP-сервером в Интернете. По статистике Netcraft, в августе 2007 г. он работал на 51% всех веб-серверов, в мае 2009 г. – на 46%. По данным Netcraft на январь 2011 г., более 160 млн сайтов обслуживаются веб-сервером Apache, что составляет 59% от общего числа Web-сайтов.

Apache имеет различные механизмы обеспечения безопасности и разграничения доступа к данным. Основными являются:

- Ограничение доступа к определённым директориям или файлам.
- Механизм авторизации пользователей для доступа к директории по методу HTTP-авторизации (`mod_auth_basic`) и `digest`-авторизации (`mod_auth_digest`).
- Ограничение доступа к определённым директориям или всему серверу, основанное на IP-адресах пользователей.
- Запрет доступа к определённым типам файлов для всех или части пользователей, например запрет доступа к конфигурационным файлам и файлам баз данных.

Существуют модули, реализующие авторизацию через СУБД или РАМ.

В некоторых MPM-модулях присутствует возможность запуска каждого процесса Apache, используя различные `uid` и `gid`, соответствующими этим пользователям и группам пользователей. Также существует механизм `suexec`, используемый для запуска скриптов и CGI-приложений с правами и идентификационными данными пользователя.

Для реализации шифрования данных, передающихся между клиентом и сервером, используется механизм SSL, реализованный через библиотеку OpenSSL. Для удостоверения подлинности веб-сервера используются сертификаты X.509.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Хоккинс Скотт*. Администрирование Web-сервера Apache и руководство по электронной коммерции.: Пер. с англ. М.: Изд. дом «Вильямс», 2001. 336 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОГО МУЛЬТИМЕДИЙНОГО INTERNET САЙТА ДЛЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ

*М.С. Почикаева, студентка 3-го курса, каф. РТС
г. Томск, ТУСУР, gol@rts.tusur.ru*

В настоящее время для эффективного продвижения интернет-коммерции в интернете используются технологии мультимедиа в сайтостроении. Сайты подобного типа должны привлекать внимание пользователей яркими и интересными стилями, мультимедиа-приложениями. Одной из наиболее подходящих для этого дела является Flash технология в сайтостроении.

Flash-технологии, или, как их еще называют, технологии интерактивной вебанимации, были разработаны компанией Macromedia и объединили в себе множество мощных технологических решений в области мультимедийного представления информации. Ориентация на векторную графику в качестве основного инструмента разработки flash-программ позволила реализовать все базовые элементы мультимедиа: движение, звук и интерактивность объектов. При этом размер получающихся программ минимален и результат их работы не зависит от разрешения экрана у пользователя – а это одни из основных требований, предъявляемых к интернет-проектам.

Недавно появившись, Flash уже завоевал большую популярность среди веб-дизайнеров. Flash придает сайтам динамичность, позволяет использовать больше звуковых и графических эффектов. Все программное обеспечение, необходимое для просмотра flash-страниц, является свободно распространяемым (freeware). Программы для создания страниц – условно-бесплатные (shareware), и Macromedia обеспечивает возможность пользования ими в течение 30 дней.

Неоспоримым достоинством flash является возможность получения красочно анимированных динамических интерактивных страниц очень небольшого размера, что является идеальным для использования в интернете. Это обеспечивается использованием векторной графики и мощных алгоритмов сжатия информации. Также надо отметить, что Flash позволяет использовать формы для создания запросов к серверу, а следовательно, и потенциальную возможность подключения к базе данных.

Надо также отметить, что в отличие от других технологий анимации веб-страниц, при использовании flash-технологий отсутствует проблема несоответствия размеров экрана и страницы.

Естественно, Flash не обходится без недостатков. Основным серьезным недостатком использования flash-объектов является необходи-

мость для конечного пользователя иметь установленный плагин. Хотя, как было сказано выше, во многих случаях пользователь уже имеет эту программу.

Второй недостаток заключается в высоких требованиях к ресурсам компьютера, на котором просматривается flash-ролик. Проигрыватель анимации отнимает достаточно много ресурсов процессора, а скорость проигрывания сильно зависит от размеров экрана. Но тем не менее программа для проигрывания flash-роликов работает на любом компьютере под управлением ОС Windows любых версий. Она не предъявляет жестких требований ни к количеству оперативной памяти, ни к типу процессора. Единственным различием будет скорость работы.

Flash – это мультимедийная платформа, предназначенная для создания векторной анимации и интерактивных приложений, поддерживающая растровую и трёхмерную графику, а также аудио и видео. Технология Flash предоставляет практически неограниченные возможности в создании интерактивных приложений и позволяет просто и элегантно решать практически любые задачи из области веб-дизайна, что делает ее необычайно популярной в настоящее время. Использование инструментария Macromedia Flash позволяет создавать продукты, применяемые в различных областях [1].

Создание Flash-сайта выгодно в связи с некоторыми его особенностями:

1. При создании Flash-сайта используется векторная графика, поэтому такой сайт автоматически оптимизируется к различному разрешению экрана и типу браузера.

2. Как следствие, Flash-сайты отображаются в любом масштабе с неизменным качеством.

3. Возможность создания анимации и музыкального сопровождения, делает Flash-сайт эстетически более привлекательным для посетителя.

4. На основе Flash-технологий можно создавать и сайты-презентации, которые могут иметь звуковое сопровождение, а, следовательно, отличаются наглядностью и легкостью для восприятия.

В общем, с точки зрения привлекательности и удобства восприятия для посетителя, сайт, созданный на базе Flash-технологий, имеет множество преимуществ. Но существуют и определенные недостатки:

- 1) создание сайта, полностью построенного на Flash-технологиях, обычно влечет за собой немалые проблемы с продвижением, так как поисковые системы не восприимчивы к их содержанию;

- 2) Flash-сайты загружаются гораздо дольше, чем сайты обычные, поэтому создание сайта полностью на Flash может привести к потере части посетителей, которые просто не будут дожидаться загрузки вашего сайта.

Но это вовсе не значит, что стоит вовсе отказаться от создания Flash-сайта. Просто нужно подойти к делу с умом. Как и в любом серьезном деле, в создании Flash-сайта важна умеренность. Широко распространены так называемые *комбинированные* сайты: это обыкновенные сайты с элементами Flash. Таким элементом может быть заставка (которую, при желании, посетитель может пропустить), меню или просто баннер, которые придадут вашему сайту особую привлекательность и индивидуальность [2].

Чтобы создать собственный Flash-сайт или хотя бы комбинировать его с обычной html версией, обычно используются специальное программное обеспечение и различные редакторы векторной графики. Например, используя основную платформу Joomla мы можем через VirtualMart импортировать Flash-контент на сайт. Обычно он заготавливается в таких программах, как macromedia Flash, где создается сам мультимедийный продукт, и затем импортируется на сайт.

Таким образом, мы ставим перед собой задачу создания не просто сайта электронной коммерции, а полноценного мультимедийного интернет-магазина. Современный уровень технологий позволяет реализовать все возможности по продвижению таких интернет-магазинов в сети. Имея такие возможности, мы будем внедрять и реализовывать мультимедиа Flash-технологии в нашем интернет-магазине.

Выполнено в рамках проекта ГПО РТС-1002 – «Создание защищенной информационной системы электронной коммерции».

ЛИТЕРАТУРА

1. http://citforum.ru/internet/flash_intro/index.shtml
2. http://www.dbest.ru/creation_site/flash/

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ LABVIEW ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ЕЕ ПЕРЕДАЧИ ПО ЗАЩИЩЕННЫМ IP-КАНАЛАМ

*Е.А. Рябинин, студент 3-го курса, А.М. Голиков, доцент
г. Томск, ТУСУР, каф. РТС, gol@rts.tusur.ru*

Целью проекта является исследование методов обработки видеoinформации с использованием программного обеспечения LabVIEW для эффективной ее передачи по защищенным IP-каналам. Рассмотренные методы должны обеспечить высокоэффективное кодирование и сжатие данных, что увеличит количество передаваемых данных.

Задачей данного проекта является исследование таких методов обработки, как вейвлет-анализ для увеличения коэффициента сжатия.

В последние годы цифровая обработка и цифровой анализ изображений находят все большее применение в различных областях науки и техники. Передаваемая информация становится все качественней, и тем самым занимает больший объем «дискового» пространства. Но в большинстве случаев эту информацию нужно еще и передавать. Передача больших объемов информации ограничена многими факторами, и есть несколько способов увеличения эффективности передачи. Самым интересным из них является увеличение коэффициента сжатия, так как это не требует модернизации оборудования.

Также было рассмотрено несколько существующих методов обработки видеoinформации. Одним из важных факторов в обработке является возможность фильтрации изображений. Например, используя только фильтрации изображения в области нижних или верхних частот, можно уменьшить размер передаваемого изображения.

Для решения поставленной задачи использовалось программное обеспечение компании National Instruments LabVIEW, лидера в создании виртуальных приборов, так как данное программное обеспечение доступнее в понимании и быстрее в освоении.

Выполнено в рамках проекта ГПО РТС-1001 – «Создание аппаратно-программных средств для кодирования и шифрования информации в мобильных сетях связи, 802.11, 802.16, 802.15, DVB».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Князь В.А. и др.* Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision. М.: ДМК Пресс, 2007. 464 с.
2. *Суранов А.Я.* LabVIEW 8.20: Справочник по функциям. М.: ДМК, 2008. 536 с.
3. *Федосов В.П., Нестеренко А.К.* Цифровая обработка сигналов в LabVIEW. М.: ДМК Пресс, 2007. 456 с.
4. *Дьяконов В.П.* Вейвлеты. От теории к практике. М.: СОЛОН-Р, 2002. 448 с.

ПРОТОКОЛ УДАЛЕННОГО ДОСТУПА

Е.С. Санников, студент 2-го курса

Научный руководитель И.Г. Боровской, проф., д.ф.-м.н.

г. Томск, ТУСУР, essannikov@mail.ru

Как результат эволюции компьютерных технологий появились компьютерные сети. Постепенно с развитием сетей возникла необходимость в защищенной передаче данных.

Сегодня сформулировано три базовых принципа информационной безопасности, задачей которой является обеспечение:

- целостности данных – защита от сбоев, ведущих к потере информации или ее уничтожению;
- конфиденциальности информации;
- доступности информации для авторизованных пользователей.

В настоящее время все существующие защищенные протоколы передачи данных имеют существенный недостаток, заключающийся в использовании криптографических алгоритмов для которых требуется передача ключей шифрования по каналу связи для установления соединения между клиентом и сервером.

В данной работе сделана попытка устранить этот недостаток, в результате чего создан альтернативный алгоритм обмена данными между клиентом и сервером по интернет, что обусловлено необходимостью создания собственного сценария обмена данными, обладающего повышенным уровнем защищенности.

Сценарий обмена состоит в следующем. В начале передачи, сообщение делится на блоки фиксированного размера. Далее для первого передаваемого блока отправляется его длина, которую получает приемник, и ожидает получения блока сообщения заданной длины. Затем отправителем генерируется контрольная сумма отправляемого блока и также отправляется получателю. Это обеспечивает в алгоритме передачи целостность передаваемых данных по каналу связи. После этого передается сам блок сообщения заданной длины.

Затем получатель проверяет контрольную сумму полученного блока сообщения и в случае несовпадения возвращает код ошибки для повторной передачи данных. Этот алгоритм выполняется для последующих блоков, пока все сообщение не будет передано.

Для обеспечения надежности выполняется кодирование каждого сообщения по следующему алгоритму. Выполняется суммирование нечетных байтов сообщения с заданным кодовым байтом из этой же последовательности, например пятым, и разность четных байтов с этим же кодовым байтом.

Кроме повышенной защищенности, предлагаемый способ ориентирован на работу не только на качественных каналах, но и на зашумленных каналах связи, существенно снижая трафик на таких каналах по сравнению с классическим решением за счет повторной передачи только блоков данных. На основе предложенного алгоритма разработано программное обеспечение, в виде dll, что позволяет подключать данное программное решение к существующим системам передачи информации через интернет. Серверная часть данной системы реали-

зована в виде Windows NT сервиса, что обеспечивает непрерывную возможность установления соединения с множеством клиентов. Клиентский компонент может быть подключен к произвольному программному обеспечению и обеспечивать взаимодействие с указанной серверной компонентой. При этом сценарий обмена базируется на неизменном списке predetermined команд, фильтрации допуска к соединению только клиентов с разрешенным ip-адресом, прекращении сеанса.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Джонс Э., Оланд Д.* Программирование в сетях Microsoft Windows. Мастер-класс: Пер. с англ. СПб.: Питер; М.: Изд.-торговый дом «Русская редакция», 2002. 608 с.
2. Лекция: Виртуальные частные сети – <http://www.intuit.ru/department/security/netsec/11/>
3. Протоколы защищенных каналов – <http://kunegin.narod.ru/ref5/ipsec/index.htm>
4. *Снейдер Й.* Эффективное программирование TCP/IP. Библиотека программиста. СПб.: Питер, 2002. 320 с.
5. *Стивенс У.Р., Феннер Б., Рудолф Э.М.* UNIX: разработка сетевых приложений. 3-е изд. СПб.: Питер, 2007. 1039 с.
6. Winsock Functions – <http://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/ms741394>
7. Использование моделей ввода-вывода в Winsock программировании – <http://club.shelek.ru/viewart.php?id=153>

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ

*П.А. Синегубов, студент 5-го курса, А.М. Голиков, доцент
г. Томск, ТУСУР, каф. РТС, gol@rts.tusur.ru*

Рост глобальной сети Интернет и стремительное развитие информационных технологий привели к формированию информационной среды, оказывающей влияние на все сферы человеческой деятельности. К числу наиболее перспективных направлений относится бизнес с использованием новых информационно-технологических возможностей, которые облегчают распространение информации, повышают эффективность производственных процессов. Под электронной коммерцией понимается технология, обеспечивающая полный замкнутый цикл операций, включающий заказ товара (услуги), проведение платежей, участие в управлении доставкой товара (выполнение услуги). Эти операции проводятся с использованием электронных платежных систем (ЭПС).

Электронные платежные системы (ЭПС) можно описать как технологию прямых взаиморасчетов между участниками сделки без дополнительных условий (межбанковские переводы, указание личных данных и пр.) посредством Интернета. В сочетании с оперативностью применение ЭПС способствовало резкому развитию электронной коммерции. Сегодня ЭПС – удобный способ расчетов для операторов сотовой связи, интернет-провайдеров, крупных магазинов и многих других.

Платежные системы – одни из основных элементов инфраструктуры системы электронной коммерции. Совершенствование продаж в электронной коммерции связано с внедрением более надежных и эффективных платежных систем. Цифровые деньги как основу платежной системы в Internet можно классифицировать по видам функционирования, по уровню безопасности и по способу расчета.

Главные достоинства электронных денег:

1. Мобильность.
2. Быстрога переводов, обмена валют, пополнения электронных кошельков, вывода средств.
3. Конфиденциальность и высокая надежность (сохранность средств).

Выгода электронных денежных переводов внутри одной платежной системы по сравнению с переводами из банка в банк очевидна – низкие проценты и моментальность осуществления платежа. Иными словами, у электронных денег гораздо больше степеней свободы по сравнению с деньгами реальными.

К недостаткам электронных денег относятся:

1. Необходимость знания порядка и правил пользования платежными системами, терминалами, банковскими картами.
2. Необходимость соответствующего технического оснащения пользователя, будь то настольный ПК, ноутбук, смартфон, или карманный ПК.
3. Электронные кошельки и сосредоточенные в них деньги становятся интеллектуальной собственностью клиентов платежных систем.

Одним из важнейших условий существования электронной коммерции является информационная безопасность, под которой понимается защищенность информации и поддерживающей инфраструктуры от случайных и преднамеренных воздействий, которые могут нанести ущерб владельцам или пользователям информации. Ущерб от нарушения информационной безопасности может привести к крупным финансовым потерям.

Многообразие представленных на рынке средств и методов анализа защищенности экономических информационных систем электрон-

ной коммерции (ЭИСЭК), отсутствие математической основы и научного базиса позволили сделать вывод об актуальности исследуемого вопроса.

Поставленная в работе цель обусловила решение следующих научных проблем и практических задач:

- классификация программных средств анализа защищенности ЭИСЭК;
- разработка методики анализа защищенности ЭИСЭК;
- сборка стенда для анализа работы ЭИСЭК и ее защищенности.

Практическая значимость результатов исследования состоит в том, что основные положения, выводы, рекомендации, модели, методы и алгоритмы могут быть использованы предприятиями и организациями любой структуры, ведомственной принадлежности и формы собственности для оценки защищенности ЭИСЭК.

В ходе проделанной работы была дана классификация программных средств анализа защищенности ЭИСЭК; разработана методика анализа защищенности ЭИСЭК; разработан и построен книжный интернет-магазин для электронной коммерции, на базе CMS Joomla v.1.5 были установлены следующие модули:

VirtueMart v.1.1.4 – модуль управления и заполнения содержимого интернет-магазина, контроль покупок, оплаты, доставки;

Phoca Guestbook v. 1.4.3 – гостевая книга, позволяющая посетителям оставлять отзывы и пожелания;

Kunena v. 1.6.1 – форум, позволяющий добавлять поясняющие статьи, особенности работы интернет-магазина, и любую другую необходимую информацию. Призван разгрузить каталог от отвлекающей информации.

Были рассмотрены вопросы интеграции интернет-магазина с продуктами фирмы 1С типа 1С-Бухгалтерия или 1С-Склад. Интеграция возможна и повсеместно выполняется, но комплекс процедур по интеграции уже не является бесплатным. Стоимость составляет от 9000 до 30000 рублей, в зависимости от степени взаимодействия и квалификации сотрудников.

Выполнено в рамках проекта ГПО РТС-1002 – «Создание защищенной информационной системы электронной коммерции».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Голдовский И.* Безопасность платежей в Интернете. СПб.: Питер, 2001. 240 с.
2. *Virtuemart* – интернет-магазин для Joomla // Уроки Joomla на Wedal URL: http://wedal.ru/rasshireniya_joomla/virtuemart-internet-magazin-dlya-joomla-chast-3-ustanovka-i-obnovlenie.html

3. *Кривопапов Д.В.* Классификация способов платежей// Информационный сайт Клерк URL: <http://www.klerk.ru/boss/articles/6949/>

4. *Короткевич А.* Интернет-магазин своими руками // Консалтинговая группа md URL: <http://md-bplan.ru/articles/html/article10432.html>

ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ СЕТТОРВОХ

А.В. Сулейманов, аспирант

Научный руководитель М.Ю. Катаев, проф. каф. АСУ, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. АСУ, piret@sibmail.com

В настоящее время осуществляется переход с аналогового на цифровое телевидение в связи с тем, что цифровое телевидение имеет ряд преимуществ по сравнению с аналоговым, среди которых:

- повышение помехоустойчивости трактов передачи и записи телевизионных сигналов;
- уменьшение мощности передатчиков;
- существенное увеличение числа ТВ-программ, передаваемых в том же частотном диапазоне;
- повышение качества изображения и звука ТВ-приёмников;
- создание ТВ-систем с новыми стандартами разложения изображения (телевидение высокой чёткости);
- расширение функциональных возможностей студийной аппаратуры;
- передача в ТВ-сигнале различной дополнительной информации;
- создание интерактивных ТВ-систем, при пользовании которыми зритель получает возможность воздействовать на передаваемую программу (например, видео по запросу);
- выбор языка и субтитров.

В России планируется начать переход на цифровое телевидение с 2012 г. и полностью завершить этот переход в 2020 г. В рамках этого перехода необходимо будет использовать ресиверы цифрового телевидения – устройства, которые принимают, декодируют, обрабатывают сигналы цифрового телевидения и преобразуют их в стандартный ПЦТС (полный цветной телевизионный сигнал).

В настоящее время существует достаточно большой спектр STB-устройств с различным функционалом. Скорость и функциональные возможности STB определяются типом сигнального процессора. В настоящее время эти вычислительные компоненты STB, стали многоядерными, и это свойство пока еще слабо используется. В статье рас-

смотрены возможности ресивера STB по обработке цифровых сигналов, различные аспекты программирования и возможности применения параллельных алгоритмов обработки видеопотока.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФРАКТАЛЬНЫХ И ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В LAVVIEW

Д.В. Уваровский, студент 4-го курса, А.М. Голиков, доцент

г. Томск, ТУСУР, каф. РТС, gol@rts.tusur.ru

Цель работы – исследование прогрессивных методов сжатия видеоинформации с использованием вейвлет-фрактальных преобразований. Фракталы и вейвлеты – это прогрессивные методы обработки сигналов (изображений). Цифровые изображения занимают всё большую часть информационного мира. Развитие интернета, наряду с доступностью все более мощных компьютеров и прогрессом в технологии производства цифровых камер, сканеров и принтеров, привело к широкому использованию цифровых изображений. Отсюда постоянный интерес к улучшению алгоритмов сжатия данных, представляющих изображения. Сжатие данных важно как для скорости передачи, так и эффективности хранения. Кроме многих видов коммерческого использования, технологии сжатия представляют также интерес для военных, например приложения обработки данных телеметрии, полученных от перехватчиков ракет, или для архивного хранения данных об изображении местности для моделирования оборонительных действий. Решение проблемы сжатия изображения или в более общем смысле, кодирования изображения стимулировало развитие многих областей техники и математики.

Для начала приведем определение терминов, относящихся к фрактал- и вейвлет-преобразованиям.

Фрактал (лат. fractus – дробленный, сломанный, разбитый) – сложная геометрическая фигура, обладающая свойством самоподобия, т.е. составленная из нескольких частей, каждая из которых подобна всей фигуре целиком. В более широком смысле под фракталами понимают множества точек в евклидовом пространстве, имеющие дробную метрическую размерность либо метрическую размерность, строго большую топологической.

Вейвлеты (от англ. wavelet), всплески (гораздо реже – вэйвлеты), – это математические функции, позволяющие анализировать различные частотные компоненты данных.

Вейвлетное сжатие – общее название класса методов кодирования изображений, использующих двумерное вейвлет-разложение кодируемого изображения или его частей. Обычно подразумевается сжатие с потерей качества.

Существенную роль в алгоритмах вейвлетной компрессии играет концепция представления результатов вейвлет-разложения в виде нуль-дерева (zero-tree).

Упорядоченные в нуль-дереве битовые плоскости коэффициентов вейвлет-разложения огрубляются и кодируются далее с использованием алгоритмов сжатия без потерь. Вейвлетная компрессия в современных алгоритмах компрессии изображений позволяет значительно (до двух раз) повысить степень сжатия чёрно-белых и цветных изображений при сравнимом визуальном качестве по отношению к алгоритмам предыдущего поколения, основанным на дискретном косинусном преобразовании, таких, например, как JPEG.

Непрерывное вейвлет-преобразование (англ. continuous wavelet transform, CWT) – вейвлет-преобразование, определяемое как

$$\gamma(\tau, s) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt,$$

где τ представляет трансляцию, s – масштаб и $\psi(t)$ – вейвлет-родитель (mother wavelet).

Изначальная функция может быть восстановлена с помощью обратного преобразования

$$x(t) = \frac{1}{C_\Psi} \int_{-\infty}^{+\infty} \gamma(\tau, s) \frac{1}{\sqrt{s}} \Psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \frac{ds}{|s|^2},$$

где $C_\Psi = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\Psi(\zeta)|^2}{|\zeta|} d\zeta$ называется постоянной допустимости, и Ψ –

преобразование Фурье от ψ . Для того чтобы обратное преобразование было успешным, постоянная допустимости должна соответствовать критерию допустимости $C_\Psi < +\infty$.

Также следует отметить, что критерий допустимости подразумевает, что $\Psi(0) = 0$, так что интеграл от вейвлета должен быть равен нулю [1, 2].

Фрактальная архивация основана на том, что с помощью коэффициентов системы итерированных функций изображение представляется в более компактной форме. Кодированное изображение разбивается на множество неперекрывающихся блоков (ранговых областей), для каждого из которых, в пределах этого же изображения, ищется блок боль-

шего размера (домен), пиксели которого путём некоторого преобразования, задаваемого несколькими коэффициентами, переводились бы в пиксели ранговой области. При этом для поиска оптимального соответствия ранговых областей и доменов необходим полный перебор вариантов, что влечёт за собой значительные вычислительные затраты.

Для восстановления изображения, закодированного таким образом, нужно запустить итерационный процесс, используя в качестве стартового любое изображение F_0 (соответствующего размера). Согласно принципу сжатых отображений отображение W будет иметь единственную неподвижную точку отображения (аттрактор), такую что $F' = W(F')$. Эта точка пространства изображений и будет восстановленным изображением, которое повторяет исходное с некоторой точностью (рис. 1). Каждый блок является доменом для своих подблоков, а подблоки – ранговыми областями. Задача кодирования изображения в этом случае сводится к проверке подобия ранговой области домену, содержащему эту область. В случае отсутствия подобия соответствующий подблок снова разбивается на четыре квадратных «под-подблока» и сам становится доменом для своих подблоков.

Процесс разбиений продолжается до тех пор, пока очередной подблок не будет состоять из одного пикселя.

В качестве примера построения фрактального изображения приведем общеизвестный треугольник Серпинского (рис. 2) [2].

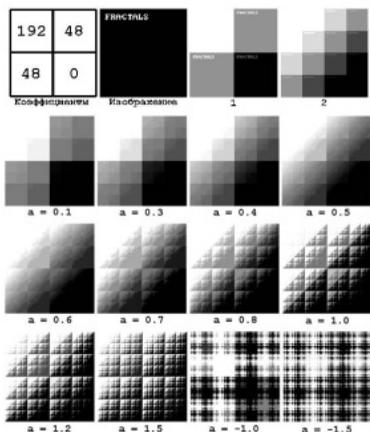


Рис. 1. Итерации восстановления изображения из кода

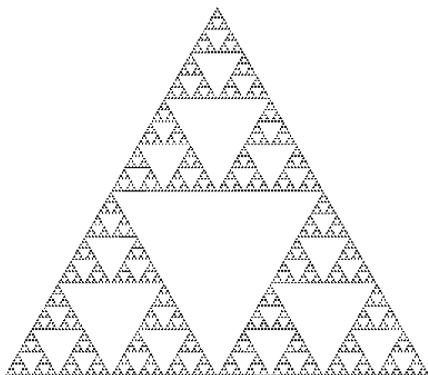


Рис. 2. Треугольник Серпинского

Для обработки видеоизображения также используют программы LabVIEW, которые представляют собой среду высокоэффективного графического программирования, разработанную специально для инженеров и научных расчетов.

LabVIEW сочетает гибкость традиционного языка программирования с интерактивной технологией экспресс-ВП, которая включает в себя автоматическое создание кода, использование помощников, шаблоны различных приложений и настраиваемые экспресс-ВП. Благодаря этим особенностям эксперты и новички могут быстро, без всяких усилий разрабатывать приложения [3].

Реализация вейвлет-преобразования возможна в системе LabVIEW и IMAQ Vision.

Рассмотрим процесс разложения сигнала $F(t)$ в системе базисных функций Хаара. Первая базисная функция, в отличие от всех последующих, представляет собой прямую линию. В случае нормированного базиса $\{\Phi_n(t)\}$ свертка первой базисной функции с исходным сигналом будет определять его среднее значение. Последующие базисные функции разложения Хаара представляют собой масштабируемые по степени 2, сдвинутые «ступеньки». Реализуем систему базовых функций Хаара в системе LabVIEW и IMAQ Vision (рис. 3) [4].

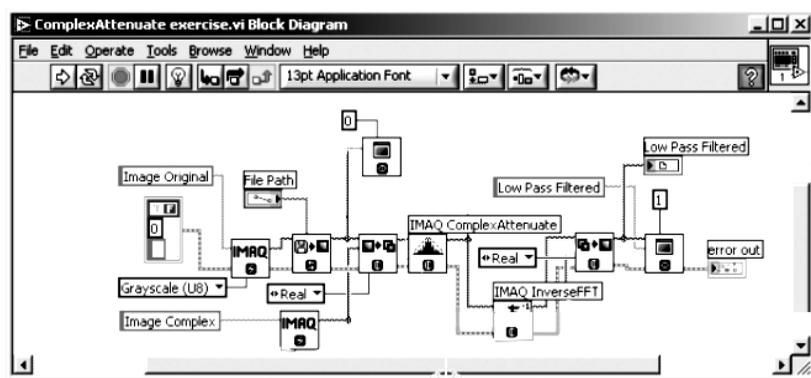


Рис. 3. Реализация системы базовых функций Хаара в LabVIEW и IMAQ Vision

Проведем сжатие изображения JPG 640×480 цветного и чёрно-белого разрешением 256 пикселей на дюйм, с использованием базовых функций Хаара в LabVIEW и IMAQ Vision.

При визуальном сравнении полученных изображений с исходными наблюдается значительное ухудшение качества, выраженное большой дробностью изображения (табл. 1, 2).

Таблица 1

Технические параметры системы

Параметры исходного изображения		Параметры ПК	
Размеры	640×480	Процессор	Dual Core M320 2.1GHz
Разрешение	256 точек на дюйм	Установленная память	3.00 Gb (2.75 GB доступно)
Глубина цвета	24 (бит)	Тип системы	Windows 7 64-разрядная
Сжатие	0		
Цветовая палитра	RGB		

Таблица 2

Результаты измерений

Цветное		Черно-белое	
JPG	JPG с вейвлет	JPG	JPG с вейвлет
244 КБ (250 712 байт)	52 КБ (53248 байт)	190 КБ (194 928 байт)	38 КБ (38912 байт)
256 точек на дюйм	243 точек на дюйм	256 точек на дюйм	212 точек на дюйм
52 мс	380 мс	48 мс	292 мс

В заключение можно сказать, что при проведении эксперимента с вейвлет-сжатием с использованием базовых функций Хаара в LabVIEW и IMAQ Vision были получены результаты, в которых значительно увеличена длительность кодирования и наблюдается значительное ухудшение качества изображения. Однако размеры полученных изображений соответствуют поставленной цели компрессии графического образа.

Выполнено в рамках проекта ГПО РТС-0901 – «Разработка и создание аппаратно-программных средств защиты сетей и систем связи».

ЛИТЕРАТУРА

1. Федосов В.П., Нестеренко А.К. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW. М.: ДМК Пресс, 2007. 456 с.
2. Уэлстид С. Фракталы и вейвлеты в действии / Пер. с англ. М.: Мир, 2003. 320 с.
3. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Князь В.А. и др. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision. М.: ДМК-Пресс, 2007. 464 с.
4. Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений: учеб. пособие. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. 192 с.

СЕКЦИЯ 3

АУДИОВИЗУАЛЬНАЯ ТЕХНИКА, БЫТОВАЯ РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА И СЕРВИС

*Председатель – Пустынский И.Н., зав. каф. ТУ, д.т.н.,
профессор;*

зам. председателя – Костевич А.Г., к.т.н., с.н.с. каф. ТУ НИЧ

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АНТИПОДА НА ВРЕМЕННОЙ И ЧАСТОТНЫЙ ОТКЛИКИ ДВУХ ОТРЕЗКОВ ПЛОСКОГО ТРЕХПРОВОДНОГО КАБЕЛЯ

И.Г. Бевзенко, м.н.с., А.М. Заболоцкий, с.н.с.

*Научный руководитель Т.Р. Газизов, доцент каф. ТУ, с.н.с.
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, ivan-bevzenko@yandex.ru*

Важную роль в обеспечении нормального функционирования радиоэлектронной аппаратуры (РА) играет помехозащищенность. Часто помехи передаются по проводникам, что приводит к нарушению нормального функционирования РА. Новой угрозой стали сверхкороткие импульсы, способные вывести аппаратуру из строя. Это вынуждает создавать специальные устройства защиты, основанные на новых технических принципах.

В работе [1] показано, как проблема защиты от сверхкоротких импульсов может усугубиться из-за явления разложения и последующего восстановления импульса (РПВИ). Для реализации РПВИ необходимо, чтобы один отрезок линии передачи был антиподом относительно другого отрезка.

Цель работы – исследование влияния уменьшения значения относительной диэлектрической проницаемости (ϵ_r [2]) отрезка 1 кабеля ВВГп-3×1,5, на временной и частотный отклики.

Моделировалась структура из двух отрезков, один из которых является антиподом относительно другого. Эквивалентная схема структуры изображена на рис. 1, где E_r – генератор ЭДС, $R_1 - R_4$ – резисторы (для согласования линии), l_1, l_2 – длины отрезков, $V1 - V5$ – вычисляемые формы напряжения импульсного сигнала.

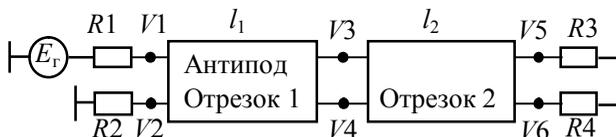


Рис. 1. Эквивалентная схема исследуемой структуры

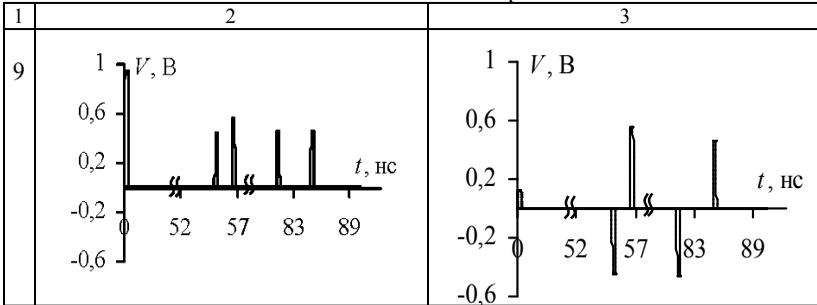
В системе компьютерного моделирования электромагнитной совместимости TALGAT построено поперечное сечение кабеля марки ВВГп-3×1,5. Длина отрезка 2 оставалась неизменной ($l_2 = 1,3$ м), длина отрезка 1 подбиралась согласно (1), где $\Delta\tau_1$ и $\Delta\tau_2$ – разность погонных задержек четной и нечетной мод отрезков 1 и 2. Параметры импульса воздействия: форма – трапеция; время нарастания $t_r = 100$ пс; время спада $t_f = 100$ пс; время плоской вершины $t_d = 200$ пс. Амплитуда ЭДС при вычислении временного отклика 2 В, частотного 1 В.

$$l_1 = -l_2 \cdot \Delta\tau_1 / \Delta\tau_2. \quad (1)$$

В таблице приведены формы сигналов в активной и пассивной линиях временного отклика в зависимости от ϵ_{r2} отрезка 1.

Формы сигналов в активной и пассивной линиях временного отклика в зависимости от ϵ_{r2} отрезка 1

ϵ_{r2}	Активная линия	Пассивная линия
11		
10		



Из таблицы видно, что уменьшение значения ϵ_{r2} отрезка 1 приводит к увеличению длины отрезка 2. При $\epsilon_{r2} = 9$ отрезок 1 перестает быть антиподом относительно отрезка 2, и восстановления импульсов не происходит. Также при $\epsilon_{r2} = 9$ синфазная мода приходит позже дифференциальной.

На рис. 2 приведены формы сигналов частотного отклика при $\epsilon_{r2} = 11$ (а), $\epsilon_{r2} = 10$ (б), $\epsilon_{r2} = 9$ (в) отрезка 1.

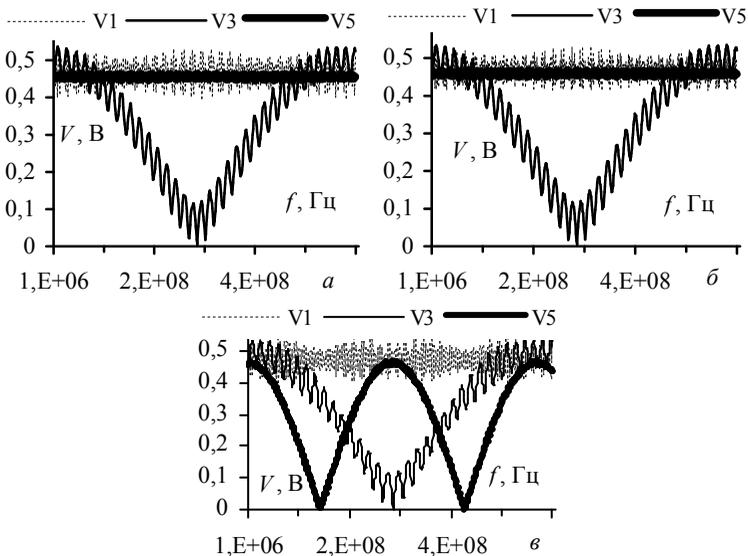


Рис. 2. Формы сигналов частотного отклика при $\epsilon_{r2} = 11$ (а); $\epsilon_{r2} = 10$ (б); $\epsilon_{r2} = 9$ (в) отрезка 1

Из рис. 2, а, б видно, что уменьшение значения ϵ_{r2} отрезка 1 не оказывает существенного влияния на частотный отклик, пока отрезок

1 является антиподом относительно отрезка 2. Так как при $\varepsilon_{r2} = 9$ отрезок 1 перестает быть антиподом отрезку 2, происходит изменение формы сигналов частотного отклика (рис. 2, в).

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в соответствии с договором 2148 от 05.07.2010 г. в порядке реализации Постановления №218 Правительства РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р.* Разложение и восстановление импульса в линиях передачи // Электромагнитные волны и электронные системы. 2006. № 11. С. 4–7.

2. *Бевзенко И.Г., Заболоцкий А.М., Газизов Т.Р.* Сравнение откликов на импульсное и гармоническое воздействия структуры из модальных антиподов плоского трехжильного кабеля // Томск: ТПУ, XVII «Современные техника и технологии СТТ 2011», 18–22 апреля 2011 г. Томск, 2011.

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И НАБЛЮДЕНИЯ

С.В. Бянкина, Р.Р. Базаржапова

г. Томск, ТУСУР, РТФ, svetabyankina@mail.ru

В конце 1960-х – начале 1970-х годов появились два совершенно разных устройств телевизионных (ТВ) датчиков для преобразования света в электрический сигнал и формирования изображений: на базе приборов с зарядовой связью (ПЗС) и комплементарных металл-оксидных преобразователей (КМОП) [1]. Каждый тип датчиков может использоваться в различных областях применения, имеет свои достоинства и недостатки, и ни один не превосходит другой по всем параметрам. Основной целью и задачей работы являются сравнение технико-экономических характеристик и функциональных возможностей КМОП и ПЗС-датчиков, обоснование и выбор конкретной, наиболее привлекательной области их применения. Рассмотрим более подробно тот и другой виды датчиков ТВ-систем контроля и наблюдения.

В основе прибора с зарядовой связью лежат свойства структуры металл–окисел–полупроводник, способной собирать, накапливать и хранить зарядовые пакеты основных носителей в локализованных потенциальных ямах или МОП-конденсаторах, являющихся основным элементом ПЗС-матриц. В ПЗС-датчике заряд каждого элемента изображения последовательно передается на выходной узел, где он преобразуется в напряжение, усиливается и поступает на внешние устройства обработки видеосигналов и изображений. Поскольку падающий

свет последовательно преобразует все элементы матрицы, выходной сигнал ПЗС-датчика однороден, что важно для получения высококачественного изображения [2]. От количества и размера элементов ПЗС-матриц во многом зависит качество изображений, которое может быть получено видеокамерой или ТВ-датчиком. Чем выше плотность и число элементов, тем более высокое разрешение будет давать ПЗС-датчик. Частота преобразования зарядов элементов матрицы, передачи видеосигналов на внешние устройства обработки информации и быстродействия ПЗС-датчиков ограничены режимом их работы в ТВ-стандартах.

Датчики на основе КМОП-технологии в отличие от ПЗС-датчиков позволяют реализовать большое количество функций непосредственно на кремниевом кристалле. Помимо преобразования фотонов в электроны, накопления и усиления сигналов, КМОП-датчик может преобразовывать аналоговые сигналы в цифровую форму и выполнять их обработку в каждом элементе матрицы. Схема КМОП-датчика достаточно сложна, а минимальный размер элемента изображения относительно велик. Поскольку каждый элемент матрицы самостоятельно преобразует свет в электрический сигнал, однородность сигналов изображения хуже, чем у ПЗС-устройств, и требует дополнительной коррекции. Широкий набор функций на одном кристалле – преимущество КМОП-технологии по сравнению с ПЗС-технологией. Считывание заряда с активных элементов КМОП-матрицы происходит по параллельной схеме, при которой сигнал с каждого элемента или колонки элементов может выбираться произвольно.

Такой прямой доступ к элементам позволяет КМОП-датчику считывать не всю видеоинформацию матрицы целиком, а уменьшать размер захваченного изображения и выбирать группу элементов или изображения одиночных малоразмерных объектов интереса в окне сканирования. Малый размер окна сканирования или раstra слежения за обнаруженным подвижным объектом позволяет потенциально увеличить быстродействие КМОП-датчика по сравнению с ПЗС-датчиками, в которых для контроля и измерения параметров объектов необходимо вначале считать и выгрузить всю видеоинформацию, а затем обработать большой объем избыточной информации. Особенности и преимущества нового режима работы и метода получения полезной видеоинформации заключаются в том, что уменьшение избыточной информации и помех производится не в результате обработки видеосигналов на выходе преобразователя, а непосредственно в самом процессе выборки, считывания, усиления и преобразования сигналов каждого элемента КМОП-матрицы.

Метод оконного сканирования, выборки и считывания видеоданных позволяет на несколько порядков уменьшить объем считываемой

и обрабатываемой видеоинформации, повысить частоту сканирования, точность измерения параметров и производительность КМОП-датчиков по сравнению с видеокамерами и ПЗС-датчиками, работающими в ТВ-стандартах [3]. Появляется возможность применять одну и ту же матрицу в принципиально различных адаптивных режимах работы, создавать и размещать усилительные каскады в любом месте преобразователя и изменять чувствительность КМОП-датчика в сложных условиях окружающей среды. Основное преимущество КМОП-технологии – низкое энергопотребление в статическом состоянии. Это позволяет применять КМОП-матрицы в составе энергонезависимых устройств, например в датчиках движения ТВ-систем контроля и охраны, находящихся большую часть времени в режиме «сна» или «ожидания события».

Важным преимуществом КМОП-датчиков является единство ее технологии с остальными, широко применяемыми ранее цифровыми аппаратно-программными КМОП-средствами хранения и обработки видеоинформации [1, 2]. Это дает возможность объединения на одном кристалле средства преобразования и обработки сигналов, служит основой для миниатюризации ТВ-датчиков и снижения их стоимости ввиду отказа от дополнительных внешних микропроцессорных устройств. Сенсоры, изготовленные по КМОП-технологии, позволяют создать ТВ «системы на кристалле», что является большим преимуществом перед ПЗС-структурами. Также можно отметить дешевизну производства КМОП-преобразователей по сравнению с ПЗС-технологией, особенно при больших размерах матриц. Сегодня КМОП-атрицы на равных конкурируют с ПЗС-сенсорами на рынке портативной техники. Применение КМОП-сенсоров в эндоскопах и другом медицинском оборудовании обусловлено их небольшим размером, низким энергопотреблением и достаточными для диагностирования характеристиками. КМОП-преобразователи активно внедряются в системы технического зрения для контроля и измерения параметров быстро движущихся объектов и быстропротекающих процессов. КМОП-датчики могут найти широкое применение в автомобильной промышленности и в активно развивающемся рынке систем безопасности.

Современные КМОП- и ПЗС-датчики контроля и наблюдения превосходят датчики предыдущих поколений по спектральной полосе пропускания, разрешающей способности и чувствительности. Новые методы считывания и обработки видеоинформации позволяют повысить эксплуатационную гибкость и обеспечить большую универсальность ТВ-систем, в которых используются эти датчики. Они обеспечивают более высокие характеристики, меньшие потребляемую мощность, габариты и стоимость ТВ-систем. Датчики на основе ПЗС-

преобразователей могут широко использоваться в ТВ-системах массового производства, в дешевых камерах сотовых телефонов, видео- и фотокамерах, камкордерах и цифровых фотоаппаратах, а на основе КМОП-преобразователей – в промышленных видеокамерах с высокими техническими характеристиками, в системах безопасности, в научном, медицинском, военном и космическом оборудовании.

Таким образом, датчики на базе ПЗС-преобразователей целесообразно применять в системах видеонаблюдения и формирования высококачественных изображений, а КМОП-преобразователи – в ТВ-системах контроля и измерения параметров объектов или процессов. КМОП-датчики непрерывно совершенствуются и уже вытесняют ПЗС-преобразователи в автомобильных системах безопасности и технического зрения. Очевидно, области применения КМОП-датчиков будут расширяться, а их характеристики улучшаться быстрее по сравнению с ПЗС-датчиками.

Выполнено в рамках проекта ГПО ТУ-0903.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Быков Р.Е.* Основы телевидения и видеотехники. М.: Горячая линия – Телеком, 2006. 399 с.
2. *Системы* телевизионного наблюдения [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.vashdom.ru/articles/st_telview.htm, свободный.
3. *Мищенко Н.И.* Возможные пути улучшения технических характеристик телевизионных измерительных систем // Докл. Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. Томск: САН ВШ; В-Спектр. 2008. С. 40–43.

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОРПУСА БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ ТОНКОПРОВОДНОЙ АППРОКСИМАЦИЕЙ

А.С. Дементьев, каф. ТУ, м.н.с.

Научный руководитель Т.Р. Газизов, с.н.с., к.т.н.

*г. Железногорск, ОАО «Информационные спутниковые системы»
им. академика М.Ф. Решетнева, Dementev_as@bk.ru*

В современных космических аппаратах постоянно увеличивается количество используемой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) и растёт плотность её размещения. При этом все работающие радиоэлектронные приборы и оборудование, включая кабели, разъемы, печатные платы и корпуса приборов, создают разнообразные по характеру электромагнитные помехи, которые, в свою очередь, влияют на работу других радиоэлектронных устройств. В результате действия таких помех возникают различные нарушения в работе оборудования, приводящие к выходу его из строя, авариям и сбоям.

Для оценки помехозащищённости конструкций бортовой аппаратуры очень хорошо подходит электродинамический анализ. С внедрением мощных компьютеров и появлением возможности решения систем линейных уравнений с высокой скоростью появился целый ряд систем электродинамического моделирования, таких как FEKO, EMC Studio, Empire, Quick wave, TALGAT. Перед разработчиками аппаратуры возникает сложность выбора оптимальной системы для решения поставленных перед ними задач. Оптимальность системы определяется функциональностью, быстродействием, системными требованиями, ценой и др. Поэтому вопрос выбора соответствующей системы весьма важен. В работе был использован программный продукт TALGAT [1], который отвечает всем вышеперечисленным требованиям.

Цель данной работы – провести моделирование реального корпуса бортовой аппаратуры, сделать электродинамический анализ корпуса и получить диаграмму направленности (ДН) вектора напряжённости электрического поля E в дальней зоне и оценить характер его изменения.

Структура исследуемого корпуса представлена сеткой из проводников. Диаметр проводников 0,001 м, длина проводников в ячейке 0,005–0,02 м. В центре корпуса расположен вибратор длиной 12 см, с источником синусоидального воздействия напряжением 1 В (рис. 1).

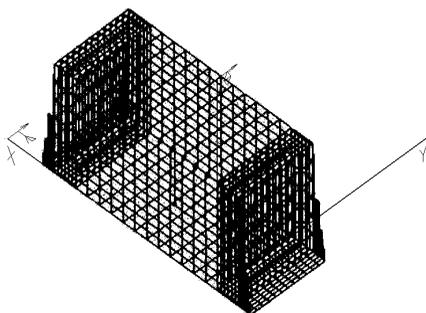
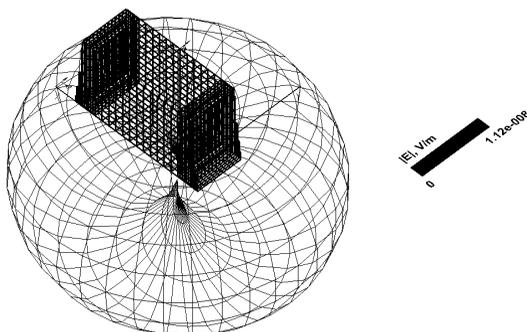


Рис. 1. Исследуемая геометрия

Рис. 2. ДН вектора E в дальней зоне на частоте 10 МГц



В результате моделирования получены ДН модуля вектора напряжённости электрического поля E в дальней зоне и его составляю-

щик в сферической системе координат в диапазоне частот 10–1000 МГц, с шагом 10 МГц. Для примера представлены ДН для частот 10, 500 и 860 МГц (рис. 2–4).

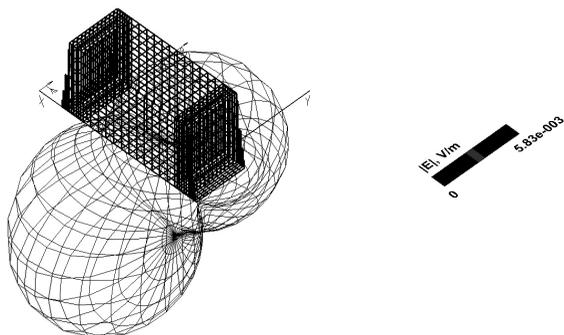


Рис. 3. ДН вектора E в дальней зоне на частоте 500 МГц

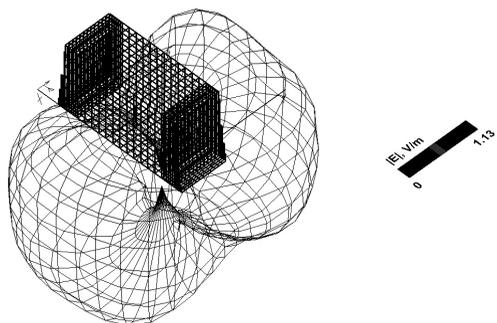


Рис. 4. ДН вектора E в дальней зоне на частоте 860 МГц

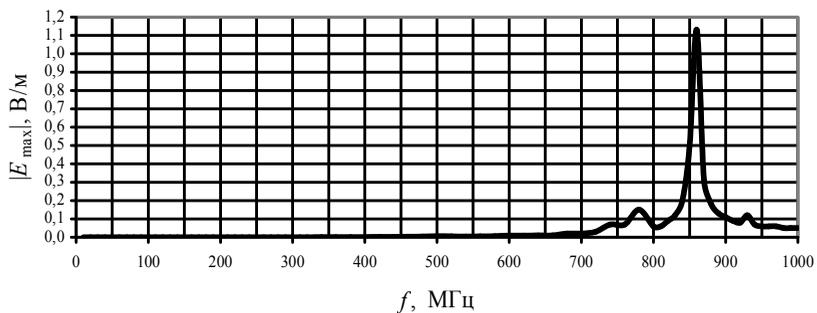


Рис. 5. Зависимость максимального значения напряжённости электрического поля от частоты

По результатам моделирования построен график зависимости (рис. 5) максимального значения вектора напряжённости электрического поля \mathbf{E} в дальней зоне от частоты. На частоте 860 МГц получено максимальное по модулю значение напряжённости электрического поля $|\mathbf{E}_{\max}| = 1,135$ В/м ($|\mathbf{E}\theta| = 0,943$ В/м и $|\mathbf{E}\varphi| = 0,631$ В/м) при $\theta = 1,047$ рад и $\varphi = 1,223$ рад.

Отметим также, что с изменением частоты меняется не только величина максимальной напряжённости электрического поля, но и форма ДН.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Свидетельство* о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010613497. TALGAT 2009. Авторы: Газизов Т.Р., Мелкозеров А.О., Газизов Т.Т. и др. Заявка №2010612008. Дата поступления 13 апреля 2010 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 28 мая 2010 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК МАКЕТА МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА НА ОСНОВЕ ЛИНИИ С ЛИЦЕВОЙ СВЯЗЬЮ

Е.С. Долганов, каф. ТУ, м.н.с.

Научный руководитель Т.Р. Газизов, с.н.с., к.т.н.

*г. Железнодорожск, ОАО «Информационные спутниковые системы»
им. академика М.Ф. Решетнева», e-mail: Dolganov_e@mail.ru*

В работе [1] проведено предварительное компьютерное моделирование модального фильтра на основе линии с лицевой связью (ЛЛС) в системе TALGAT [2]. Используя модуль GA (модуль генетических алгоритмов) системы, проведена параметрическая оптимизация фильтра. Поперечное сечение полученной структуры представлено на рис. 1, *a*.

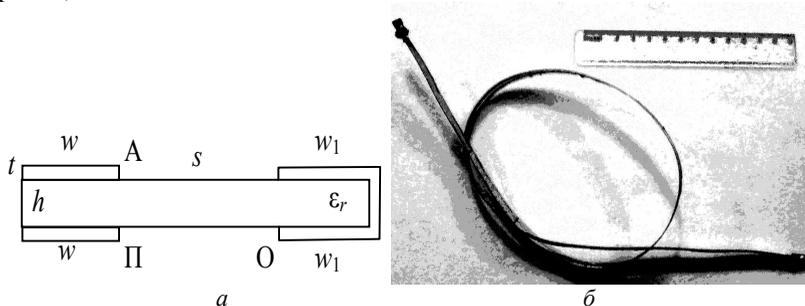


Рис. 1. Поперечное сечение (*a*) и макет модального фильтра (*б*)

Результатом оптимизации стали следующие значения геометрических параметров линии: $w = 3,35$ мм, $s = 3$ мм, $w_1 = 1,62$ мм. Толщина полосок $t = 0,105$ мм и диэлектрического материала $h = 0,29$ мм выбрана из широкого распространенного ряда значений с учетом максимального пропускаемого тока в активном (А) и общем (О) полосках (П – пассивный). Материал с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 5$ (стеклотекстолит) выбран из соображений дешевизны и общедоступности.

По результатам работы [1] изготовлен макет модального фильтра. Однако значения геометрических параметров макета отличаются от полученных при оптимизации.

Цель данной работы – исследование влияния отклонения геометрических параметров изготовленного макета модального фильтра на его характеристики.

Для достижения поставленной цели геометрические параметры макета модального фильтра длиной $l = 67$ см были измерены через каждые 5 см. Результаты измерений параметров сведены в табл. 1.

Таблица 1
Значения параметров макета модального фильтра

Параметр, мм	Изменение параметра по длине линии l , см													
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
w	3,5	3,8	4	3,4	3,3	3,3	3,3	3,1	3	3,6	3,2	3	2,5	3
s	3	3,3	2,5	3	3,6	3,7	3,6	3,3	3,7	3	3,2	3,9	3,8	4
w_1	1,7	1,9	2,5	1,4	2,2	2,3	2,1	2,2	1,9	2,2	2	1,6	2	1,6

По данным табл. 1 были вычислены средние арифметические значения для каждого из трех геометрических параметров, которые составили: $w = 3,3$ мм, $s = 3,6$ мм, $w_1 = 2,1$ мм. Для полученных усредненных значений в системе TALGAT были вычислены характеристики модального фильтра. Результаты вычислений приведены в табл. 2 в сравнении с характеристиками из [1].

Таблица 2
Значения характеристик макета модального фильтра

w , мм	s , мм	w_1 , мм	$\Delta\tau$, нс/м	V_1 , В	V_2 , В	Z_0 , Ом	Z_e , Ом	$\sqrt{Z_0 Z_e}$, Ом
3,35	3	1,62	3,26	0,1	0,1	6,56	386,8	50,4
3,3	3,6	2,1	3,36	0,1	0,1	6,65	411,2	52,3

Из табл. 2 видно, что значения некоторых характеристик изготовленного макета модального фильтра имеют незначительные отклонения. Важно, что значение волнового сопротивления $Z = \sqrt{Z_0 Z_e} = 52,3$ Ом, поскольку планируется подключить изготовленный макет модального

фильтра к измерительному тракту осциллографа, сопротивление которого составляет 50 Ом.

Исходя из вышеизложенного, можно заключить, что отклонения геометрических параметров изготовленного макета модального фильтра на основе ЛЛС вносят допустимые изменения в его характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долганов Е.С. Параметрическая оптимизация модального фильтра на основе линии с лицевой связью // Матер. Семнадцатой междунар. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых «Современные техника и технологии» СТТ-2011, г. Томск, 18–22 апреля 2011 г. Томск, 2011.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010613497. TALGAT 2009. Авторы: Газизов Т.Р., Мелкозеров А.О., Газизов Т.Т. и др. Заявка №2010612008. Дата поступления 13 апреля 2010 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 28 мая 2010 г.

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ ЦИФРОВЫХ МИКРОСХЕМ НА ЯЗЫКЕ DIGITAL SIMCODE

И.Ф. Калимулин, инженер, А.М. Заболоцкий, н.с.

г. Томск, ТУСУР, НИИ «БЭМС РЭС», ilirium115@gmail.com

В настоящее время разработчики радиоэлектронных средств (РЭС) для создания схем используют системы автоматизированного проектирования (САПР). Одной из самых популярных САПР в России является Altium Designer [1].

Для получения точных результатов моделирования реальных схем необходимы достоверные модели использованных компонентов. Российские производители не предоставляют модели своих компонентов в формате SPICE, поэтому для схемотехнического анализа РЭС, основанных на отечественной элементной базе, приходится использовать модели зарубежных аналогов. Это сказывается на качестве результатов моделирования, что ведёт к увеличению сроков разработки и повышению материальных затрат на этапе разработки. Как итог – снижение конкурентоспособности РЭС.

Altium Designer содержит средства для создания моделей Digital SimCode [2]. Данные модели работают по алгоритму XSPICE, и их можно использовать вместо SPICE моделей [1] для цифровых микросхем (ЦМ). Язык SimCode позволяет при разработке моделей задавать статические и динамические характеристики микросхем, учитывать влияние температуры, напряжения питания и нагрузочную способность ЦМ. Для того чтобы процесс разработки моделей занимал при-

емлемое время и получаемая модель имела достаточную достоверность, нужны методики.

Различные классы ЦМ выполняют разные функции, соответственно методики создания их моделей также требуют отдельной проработки. Цель данной работы – представить методику разработки схемотехнических моделей цифровых компонентов класса «регистр на D-триггерах».

Методика разработки ЦМ состоит из 6 этапов, каждый из которых заключается в описании определённых параметров:

1. SimCode Function Identification.
2. Data Declarations.
3. SimCode Function Initialization.
4. LOAD and DRIVE Statements.
5. Device Functionality.
6. Output Delays/Post Events.

На этапе 1 определяются: а) функция-обозначение, служащая для идентификации данного компонента в файле с исходным текстом; б) в виде комментариев описываются название компонента, его логическая функция и источник параметров.

На этапе 2 задаются: а) имена входных контактов модели и выводы питания (оператор INPUTS); б) выходные контакты модели (оператор OUTPUTS); в) внутренние целые и вещественные переменные (оператор INTEGERS и REALS); г) выводы питания и земли, устанавливаются их значения; д) задаются допустимые границы изменения напряжения источника питания (оператор SUPPLY_MIN_MAX); е) задаются максимальное выходное напряжение низкого уровня (Vol max) и минимальное выходное напряжение высокого уровня (Uoh min) оператором VOL_VOH_MIN; ж) задаются максимальное входное напряжение низкого уровня (Vil max) и минимальное входное напряжение высокого уровня (Vih min) оператором VIL_VIH_VALUE или VIL_VIH_PERCENT.

На этапе 3 производится присвоение значений заданным во втором этапе переменным. Данный этап можно разделить на 6 подэтапов, описывающих разные физические характеристики ЦМ.

Этап 3.1. Параметры временной диаграммы: а) длительность фронта выходного импульса (переменная tt_val); б) длительность сигнала Clock (переменная CP_tw); в) длительность сигнала Reset (переменная MR_tw); г) время установления сигнала D относительно сигнала Clock (переменная ts_val); д) время удержания сигнала D относительно сигнала Clock (переменная th_val); е) время восстановления сигнала Clock после сигнала Reset (переменная trec_val).

Этап 3.2. Задержки распространения сигнала от входов к выходам микросхемы: а) время задержки распространения сигнала при выключении (переменная *tplh_val*); б) время задержки распространения сигнала при включении (переменная *trph_val*).

Этап 3.3. Параметры выходных характеристик: а) эквивалентное сопротивление выходной цепи при низком уровне напряжения на выходе (переменная *gol*); б) эквивалентное сопротивление выходной цепи при высоком уровне напряжения на выходе (переменная *goh*).

Этап 3.4. Параметры входных характеристик: а) сопротивление нагрузки при низком уровне сигнала (переменная *gil*); б) сопротивление нагрузки при высоком уровне сигнала (переменная *gih*).

Этап 3.5. Параметры выводов питания: а) эквивалентное сопротивление цепи питания (переменная *gicc_val*).

Этап 3.6. Задаются значения на начальный момент времени выходных и внутренних переменных.

На этапе 4 производится присвоение параметров, из этапа 3, конкретным выходным контактам (оператор *DRIVE*) и входным контактам (оператор *LOAD*).

В этапе 5 описывается логическая функция компонента как реакция на возникновение событий – изменение логического уровня входных переменных (класс функций *CHANGE_xx*), обрабатываемых с помощью условий (конструкция *IF...THEN...ELSE*).

В этапе 6 с помощью оператора *DELAY* описываются задержки распространения сигнала в зависимости от событий – переход состояний выходной переменной (класс функций *TRAN_xx*).

Описанная методика апробирована при разработке модели интегральной схемы 1554ИР35ТБМ.

Результаты работы использованы в НИЛ «БЭМС РЭС» в ходе выполнения ОКР «Разработка комплекса программных и технических средств для контроля информационных магистралей, обеспечения электромагнитной совместимости и исследования надежности унифицированного ряда электронных модулей на основе технологии «система-на-кристалле» для систем управления и электропитания космических аппаратов связи, навигации и дистанционного зондирования Земли с длительным сроком активного существования» по госконтракту №95/10 от 24.11.2010 при поддержке Минобрнауки России в соответствии с договором №2148 от 05.07.2010 г. в порядке реализации постановления 218 Правительства РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сабунин А.Е.* Altium Designer. Новые решения в проектировании электронных устройств. М.: Солон-пресс, 2009. 432 с.

2. *Татаринов В.* К вопросу разработки моделей цифровых микросхем для P-CAD 2004-2006 // Eda Express. 2007. № 15. С. 14–20.

СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ВОСЬМИРАЗЯДНОГО РЕГИСТРА 1554ИР35ТБМ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ALTIUM DESIGNER

И.Ф. Калимулин, инженер, А.М. Заболоцкий, н.с.

г. Томск, ТУСУР, НИЛ «БЭМС РЭС», ilirium115@gmail.com

В Altium Designer для создания моделей цифровых микросхем (ЦМ) используется специализированный язык системы моделирования SimCode. Методика создания моделей на основе SimCode представлена в [1].

Цель данной работы – показать применение методики для создания модели восьмиразрядного регистра 1554ИР35ТБМ и выполнить проверку.

ЦМ 1554ИР35ТБМ выполняет функцию восьмиразрядного регистра [2]. Таблица истинности для данной микросхемы представлена в таблице, где H – высокий уровень сигнала; L – низкий уровень сигнала, X – произвольное значение.

Модель для данной микросхемы создавалась по методике, описанной в [1]. Затем для полученной модели было создано условно-графическое обозначение (рис. 1), которое было добавлено в библиотеку Altium Designer. Далее основное внимание будет уделено проверке созданной модели, которая будет основана на сравнении данных таблицы истинности [2] с результатами моделирования в схемном редакторе Altium Designer.

Таблица истинности для ЦМ 1554ИР35ТБМ

Состояние №	Входы			Выход	Проверено в тесте
	Reset	Clock	D	Q	
I	L	X	X	L	№2
II	H	Переход из 0 в 1	H	H	№1
III	H	Переход из 0 в 1	L	L	№1
IV	H	L	X	Без изменения	№3
V	H	Переход из 1 в 0	X	Без изменения	№1

Для выполнения тестирования вначале была создана тестовая схема (рис. 1), где VCC – источник питания 5 В, сопротивление резисторов равно 1 кОм, Vclk (тактовый генератор) – генератор импульсов с периодом 12 мкс, V0 – генератор импульсов с периодом 40 мкс, вывод сброса ЦМ подключен к VCC.

Тест 1. Сигнал Reset в состоянии H . Входной и выходной сигнал приведены на рис. 2 (результаты представлены для D_0/Q_0 , остальные имеют ту же форму). Из рис. 2 видно, что выходной сигнал (—A—) переходит в состояние L (рис. 2, область «б»), когда входной сигнал (—B—)

находится в состоянии L (рис. 2, область «а») и сигнал Reset переходит из 0 в 1. В момент, когда входной сигнал (рис. 2, область «б») переходит в состояние H и сигнал Reset переходит из 0 в 1, то выходной сигнал переходит в состояние H (рис. 2, область «в»), что соответствует данным в таблице.

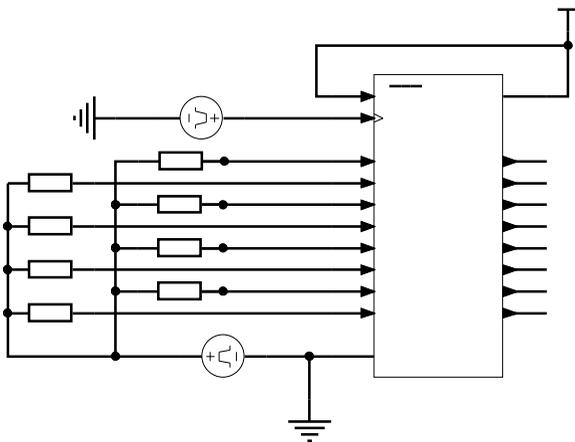


Рис. 1. Тестовая схема

Тест 2. Отличия от теста 1 и схемы, представленной на рис. 1, заключается в том, что сигнал Reset находится в состоянии L . Из рис. 3 видно, что сигнал на выходе (Δ) находится в состоянии L , что соответствует таблице.

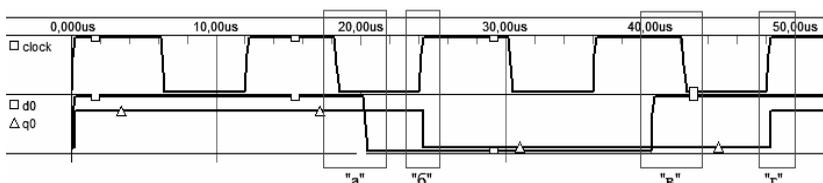


Рис. 2. Входной и выходной сигналы для теста 1

Тест 3. Отличия от теста 1 и теста 2 в том, что тактовый сигнал (Clock) находится в состоянии L . Из рис. 4 видно, что выходной сигнал (Δ) имеет состояние L .

В тесте 1 были проведены работоспособность всех пар вход/выход и полная функциональная проверка. В тестах 2–3 проведена проверка одной пары для разных случаев состояний служебных сигналов

Reset и Clock. Регистр пары вход/выход выполняет одинаковую функциональность, поэтому можно экстраполировать результаты тестов 2–3 и на оставшийся набор пар вход/выход. Модель ЦМ 1554ИР35ТБМ разработана по методике [1].

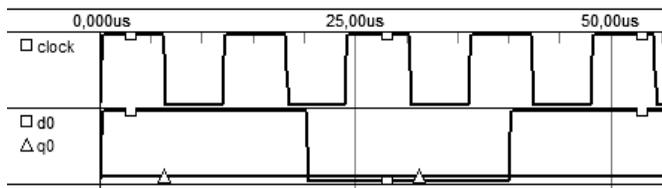


Рис. 3. Диаграммы уровней, Reset = L. Тест №2

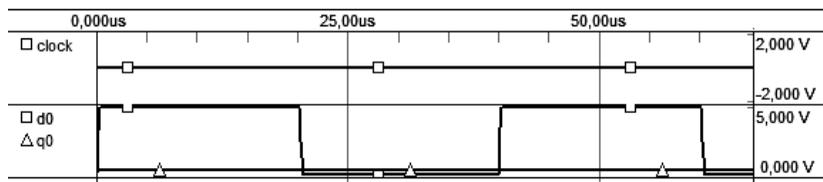


Рис. 4. Диаграммы уровней, Clock = L. Тест №3

Результаты работы использованы в НИЛ «БЭМС РЭС» в ходе выполнения ОКР «Разработка комплекса программных и технических средств для контроля информационных магистралей, обеспечения электромагнитной совместимости и исследования надежности унифицированного ряда электронных модулей на основе технологии «система-на-кристалле» для систем управления и электропитания космических аппаратов связи, навигации и дистанционного зондирования Земли с длительным сроком активного существования» по госконтракту №95/10 от 24.11.2010 при поддержке Минобрнауки России в соответствии с договором 2148 от 05.07.2010 г. в порядке реализации постановления №218 Правительства РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Калимуллин И.Ф., Заболоцкий А.М.* Методика разработки моделей цифровых микросхем на языке Digital SimCode // Науч. сб.
2. *Технические данные 1554ИР35ТБМ* // Интеграл. 2008. 5 с.

СРАВНЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ БИБЛИОТЕК ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ДАННЫХ

М.Е. Комнатнов, С.П. Куксенко
г. Томск, ТУСУР, maxmek@mail.ru

Решение систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) имеет большое значение, поскольку к нему сводится решение широкого круга сложных практических задач. В частности, часто возникает необходимость решения СЛАУ при решении задач электромагнитной совместимости. СЛАУ может быть как действительной, так и комплексной. Так, задача излучения или рассеивания электромагнитной волны сложным объектом сводится с помощью метода моментов к СЛАУ с плотной и комплексной матрицей размерности $N \times N$ [1]. Существует ряд задач, при решении которых большая точность решения не имеет принципиальной важности, поэтому использование одинарной точности приводит к снижению временных затрат.

В настоящее время существует ряд специализированных математических библиотек, реализующих как эффективные реализации операций с векторами и матрицами, так и готовые функции для решения СЛАУ прямыми методами. Традиционно для решения упомянутых выше СЛАУ используются метод Гаусса или его аналоги.

Цель данной работы – найти наиболее производительную бесплатно распространяемую библиотеку, позволяющую эффективно решать СЛАУ с плотной матрицей при использовании различных типов данных.

В данной работе использовались специализированные, свободно распространяемые библиотеки линейной алгебры ATLAS [2], Eigen, [3] и LAPACK [4]. Решение СЛАУ в данных библиотеках основано на LU разложении матрицы. Решение производилось при разных порядках матрицы СЛАУ $N = 1000, 2000, \dots, 5000$. Использовался компилятор Microsoft Visual Studio 2008 с набором ключей компиляции: Optimization, SSE2 и поддержкой многопоточности (OpenMP), который показал наилучшую производительность при решении аналогичных задач [5]. Вычисление производилось на двух рабочих станциях (PC), параметры которых приведены в таблице.

Время решения СЛАУ (T , с) при использовании действительных чисел с одинарной (float) и двойной точностью (double) при изменении порядка матрицы приведено на рис. 1, a и b соответственно. На рис. 2, a и b приведены аналогичные результаты, полученные при использовании комплексных чисел с одинарной и двойной точностью соответственно.

Основные характеристики используемых рабочих станций (PC)

№ PC	Платформа	Частота процессора, МГц	Объем ОЗУ, Мб	Количество ядер/ количество потоков	Операционная система
1	CPU Intel Core I7 970	3200	12288	6/12	Windows 7
2	CPU Intel Core 2Duo 4400	2000	2048	2/2	Windows XP

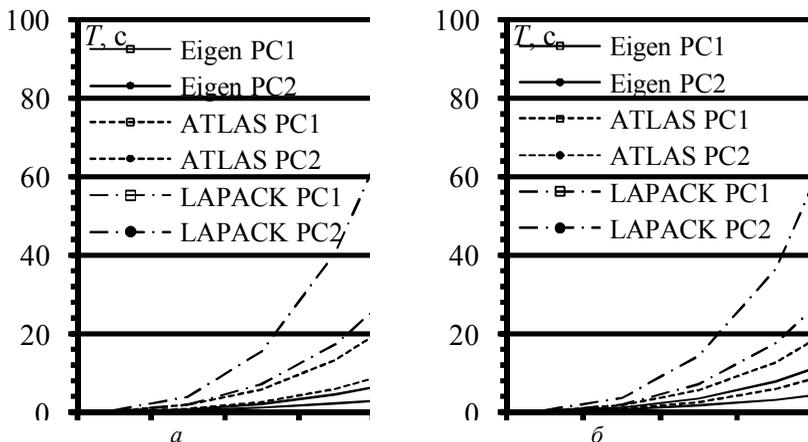


Рис. 1. Время решения СЛАУ (T , с) на двух рабочих станциях (PC) при использовании действительных чисел одинарной (а) и двойной точности (б)

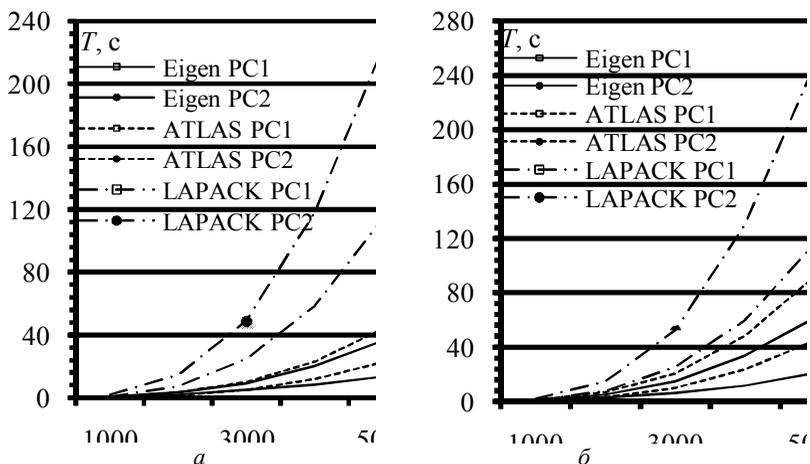


Рис. 2. Время решения СЛАУ (T , с) на двух рабочих станциях (PC) при использовании комплексных чисел одинарной (а) и двойной точности (б)

Время вычисления для комплексных значений в четыре раза возрастает по сравнению с действительными значениями вне зависимости от рабочей станции. При рассмотрении точности вычисления видно, что двойная точность приводит к двойному увеличению временных затрат по сравнению с одинарной точностью.

Из полученных результатов видно, что наибольшей производительностью обладает библиотека Eigen вне зависимости от используемого типа данных. Таким образом, для решения поставленных задач является оптимальным использование именно этой библиотеки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Куксенко С.П., Газизов Т.Р.* Итерационные методы решения системы линейных алгебраических уравнений с плотной матрицей. Томск: Том. гос. ун-т, 2007. 208 с.
2. <http://www.netlib.org/atlas>
3. <http://www.netlib.org/lapack>
4. <http://developer.amd.com>
5. *Комнатнов М.Е., Куксенко С.П.* Сравнение производительности математических библиотек на примере решения системы линейных алгебраических уравнений // Матер. докл. науч.-техн. конф. молодых специалистов ОАО «Информационные спутниковые системы «им. академика М.Ф. Решетнева» «Разработка, производство, испытания и эксплуатация космических аппаратов и систем», посвященной 50-летию полета в космос Ю.А. Гагарина, Железногорск, 2011. С. 396–398.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОГОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ КОРРЕКТНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ КВАЗИСТАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

П.Е. Орлов, аспирант каф. ТУ

г. Томск, ТУСУР, blink_281@mail.ru

Все более актуальным становится применение систем квазистатического и электродинамического моделирования для замещения экспериментов. Причиной тому являются развитие методов моделирования, вычислительной техники, определенные преимущества моделирования над экспериментом. Высокая стоимость систем, а зачастую и их недоступность приводят к необходимости в разработке собственных программных систем. При этом оценке точности и корректности результатов разрабатываемой системы стоит уделять особое внимание. Неточность либо некорректность результатов могут быть вызваны: округлением, низкой сегментацией, некорректно заданной моделью, методом моделирования (MoM, FDTD, FEM), ошибками кода при ре-

лизации метода моделирования. Естественными способами проверки корректности являются проверка на модели, хорошо изученной и способной выявить недостатки, а также использование значений погонных параметров (вектор погонных задержек, матрица погонных значений электростатической индукции).

Цель данной работы – продемонстрировать возможность выявления некорректной работы системы квазистатического анализа на примере вычисленных параметров шестипроводной микрополосковой линии.

В работе [1] выявлена возможность появления некорректных результатов системы TALGAT 2010 при определенном значении длины сегментов. Данная работа содержит новые данные, о причине появления ошибки. Приведены матрицы погонных значений электростатической индукции, значения погонных задержек мод для структуры, показанной на рис. 1.

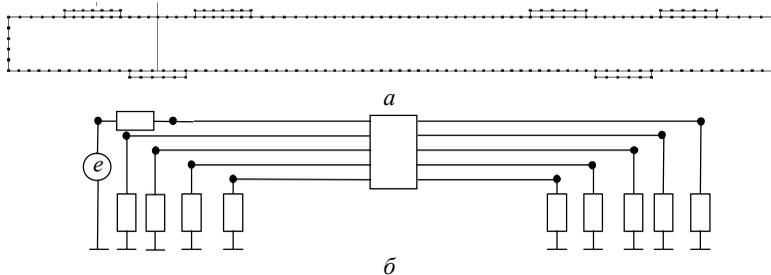


Рис. 1. Сегментированное поперечное сечение исследуемой структуры (а) при длине сегмента $l=50$ мкм и принципиальная схема (б)

Моделирование проводилось в системе квазистатического и электродинамического моделирования TALGAT 2010. Геометрические параметры линии: толщина диэлектрического слоя 0,29 мм; толщина дорожек 35 мкм; расстояние от края структуры до крайнего верхнего проводника 0,3 мм; ширина проводников 0,3 мм; расстояние между проводниками 0,4 мм, расстояние между группами проводников 1,5 мм, нижние проводники находятся посередине между верхними. Относительная диэлектрическая проницаемость среды – 5, сопротивление резисторов – 100 Ом. Параметры линии при различной сегментации приведены на рис. 2 и в табл. 1, 2 (где N – число сегментов на ребре проводника).

Из результатов моделирования табл. 1 и рис. 2 видно, что при уменьшении длины сегмента наблюдается плавная сходимость результатов. Однако при определенных длинах сегмента, когда происходит увеличение количества сегментов на торцах проводников (от 1 к 2; от

2 к 3), наблюдается резкое изменение параметров линии, а при значении длины сегмента в 10 мкм (см. табл. 2) наблюдается некорректность матрицы C (присутствуют положительные внедиагональные элементы), что, в свою очередь, говорит о некорректности вычислений при данном значении l и наличии ошибки в солвере системы.

Таблица 1

Значения погонных задержек (нс/м) мод для разных длин сегментов

l , МКМ	N	τ_1	τ_2	τ_3	τ_4	τ_5
30	1	4,07	5,06	5,14	6,02	5,98
20	1	3,99	5,12	5,19	6,06	6,08
15	2	4,20	5,08	5,18	6,05	5,97
12	2	4,01	5,12	5,2	6,06	6,09
10	3	3,45	5,16	5,18	6,05	6,35
8	4	4,02	5,10	5,19	6,04	6,04

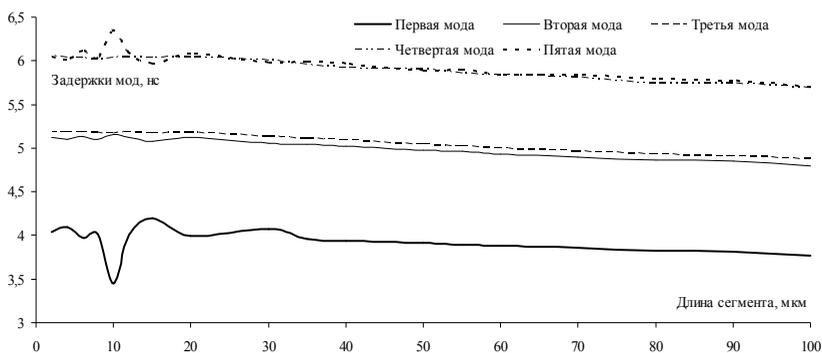


Рис. 2. Значения задержек мод при различных значениях длины сегмента

Таблица 2

Значение матриц коэффициентов электростатической индукции и характеристического импеданса

l , МКМ	N	C , Ф/м
15	2	6,01032e-011 -2,10175e-012 -7,08154e-012 -1,1545e-011 -2,14866e-012
		-1,97511e-012 5,51191e-011 -1,14639e-011 -1,78651e-012 -3,87132e-011
		-6,41574e-012 -1,04239e-011 6,08408e-011 -9,76189e-013 -3,71994e-011
		-1,20605e-011 -2,87731e-012 -2,63141e-012 5,40099e-011 -1,46788e-012
		-2,22819e-012 -3,88681e-011 -3,7683e-011 -1,26682e-012 8,04087e-011
10	3	6,03284e-011 -2,18287e-012 -7,1569e-012 -1,16928e-011 -2,20077e-012
		-9,24385e-013 5,71216e-011 -1,04366e-011 -2,51445e-014 -3,81082e-011
		-9,49104e-012 -1,56642e-011 5,79579e-011 -6,07973e-012 -3,95247e-011
		-8,22943e-012 3,74752e-012 1,36701e-012 6,07699e-011 1,30459e-012
		-2,64203e-012 -3,97162e-011 -3,82569e-011 -1,94152e-012 8,04592e-011

К сожалению, выявить причину появления нефизических результатов пока не удалось. Для устранения данной ошибки требуются результаты моделирования структур, специфичность которых будет направлена только лишь на одну из возможных причин ошибки. Некорректность матрицы **C** может быть вызвана ошибками округлений, числом сегментов на торце проводников и сегментацией диэлектрических границ вблизи торца.

Между тем, опыт данного моделирования в очередной раз подтверждает необходимость постоянного контроля на отрицательность и симметричность внедиагональных значений матрицы **C** для того, чтобы быть уверенным в корректности последующих результатов. Такой контроль предусмотрен в системе TALGAT 2010.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Самотин И.Е.* Влияние сегментации структуры на результаты компьютерного моделирования // Матер. докл. конф. «Научная сессия ТУСУР-2010», Томск, 4–7 мая 2010 г. Томск, 2010. С. 172–174

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ЗОН ПОКРЫТИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАТЧИКОВ

А.С. Попов, аспирант каф. ТУ
г. Томск, ТУСУР, mailrus@bk.ru

В рамках исследования был проведен эксперимент по измерению уровня электромагнитного поля. Задачей эксперимента являлись определение реальной зоны уверенного приема передатчика мощностью 100 Вт в цифровом режиме и оценка качества принимаемых программ.

В качестве передающего оборудования использовался DVB-T-передатчик TTUD100 производства компании «Микротек», г. Новосибирск. Контроль качества и уровня сигнала осуществлялся анализатором спектра ETL фирмы Rohde&Schwarz. Прием производился на антенну с коэффициентом усиления $K_y = 4$ дБ, закрепленную на штанге высотой 4 м на удалении 15 км от передающей антенны.

У передающей антенны с высотой подвеса 180 м коэффициент усиления 9 дБ, фидер диаметром 1 5/8 дюйма.

В качестве испытательного сигнала подается транспортный поток из четырех телевизионных программ со скоростью 24 Мбит/с в диапазоне частот 38 ТВК (607,25 МГц). Оптимальным режимом для передачи такого сигнала, обеспечивающим уверенный прием, выбран режим

модуляции 64-QAM с относительной скоростью кодирования 2/3 и защитным интервалом 1/32 [1].

Расчет напряженности электромагнитного поля цифровых передатчиков проведен согласно рекомендации МСЭ-R 1546-3 с использованием метода Окамура–Хата (1):

$$E_{\text{мед}} = 39,82 + P_{\text{ЭИМ}} - 6,16 \log f + 13,82 \log h_1 + a(h_2) - (44,9 - 6,55 \log h_1) \cdot (\log R)^b, \quad (1)$$

где $P_{\text{ЭИМ}}$ – эффективная излучаемая мощность передатчика (ЭИМ), дБ·Вт; f – частота излучения передатчика; h_1 – высота подвеса антенны передатчика над поверхностью земли; h_2 – высота подвеса антенны приемника над поверхностью земли; $a(h_2)$ – поправочный коэффициент на высоту приемной антенны; R – радиус зоны покрытия; b – коэффициент, расширяющий действие модели для протяженности трассы [2].

И формулы Б.А. Введенского (2):

$$E_m = \frac{\sqrt{60P \cdot D \cdot 4\pi \cdot h_1 \cdot h_2}}{r^2 \cdot \lambda}, \quad (2)$$

где P – мощность передатчика; D – коэффициент усиления антенны относительных единиц; E_m – минимальная напряженность поля; r – радиус зоны покрытия; λ – длина волны рабочей частоты передатчика; h_1 – высота передающей антенны; h_2 – высота приемной антенны [3].

Полученные результаты расчетов сравнивались с измеренными. Рассчитанные и измеренные значения уровня электромагнитного поля достаточно схожи, чтобы утверждать, что метод Окамура–Хата пригоден для расчета зон покрытия цифровых телевизионных передатчиков.

То же можно утверждать и про метод Введенского, с условием, что в расчетах будет учитываться поправочный коэффициент $m = 2,16$.

Предположительно методы для расчета зон покрытия аналоговых телевизионных передатчиков допустимы и в расчетах зон покрытия цифровых телевизионных передатчиков со следующими параметрами транспортного цифрового потока: режим модуляции 64-QAM с относительной скоростью кодирования 2/3 и защитным интервалом 1/32 [1].

Чтобы подтвердить или опровергнуть предположение, статистически исследуем 10 измеренных и посчитанных значений напряженности электромагнитного поля в произвольной точке зоны покрытия цифрового телевизионного передатчика.

Статистическая значимость результата представляет собой оцененную меру уверенности в его «истинности» (в смысле «репрезентативности выборки»).

R-уровень – это показатель, находящийся в убывающей зависимости от надежности результата.

Более высокий р-уровень соответствует более низкому уровню доверия к найденной в выборке зависимости между переменными. Именно, р-уровень представляет собой вероятность ошибки, связанной с распространением наблюдаемого результата на всю популяцию.

Вероятность повторения результатов исследования, показывающих наличие этой зависимости, называется статистической мощностью плана. Во многих исследованиях р-уровень 0,05 рассматривается как «приемлемая граница» уровня ошибки [4].

В таблице представлены полученные результаты, т.е. измеренные и рассчитанные значения напряженности электромагнитного поля цифрового телевизионного передатчика.

Измерения напряженности электромагнитного поля проводились с периодичностью 1 раз в 10 минут.

Измеренные и рассчитанные значения напряженности электромагнитного поля цифрового телевизионного передатчика

Номер измерения	$E_{изм}$, мкВ/м (дБ·мкВ/м)	$E_{расч}$, мкВ/м (дБ·мкВ/м)
Измерение №1	211 (46,5)	224 (47,0)
Измерение №2	213 (46,6)	224 (47,0)
Измерение №3	225 (47,0)	224 (47,0)
Измерение №4	224 (47,0)	224 (47,0)
Измерение №5	211 (46,5)	224 (47,0)
Измерение №6	210 (46,4)	224 (47,0)
Измерение №7	209 (46,4)	224 (47,0)
Измерение №8	217 (46,7)	224 (47,0)
Измерение №9	230 (47,2)	224 (47,0)
Измерение №10	231 (47,2)	224 (47,0)

Для статистической обработки полученных данных выбран программный пакет «Statistica 6».

Учитывая, что данные выборки являются независимыми, нормально распределены, следовательно, есть возможность применить t-критерий Стьюдента. В данном случае достоверность различий показателей между группами определяется с помощью парного критерия Стьюдента.

Вычисления в программном пакете «Statistica 6» привели к следующему результату. Различия между группами считаются достоверными при уровне $p < 0,05$, в данном случае программный расчет достоверности $p=0,044$. Данные достоверны [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов А.С. Применение методов Окамура–Хата и Введенского для расчета зон покрытия цифровых телевизионных передатчиков // Доклады ТУСУРа. 2010. Т. 2, Вып. 22, ч. 2. С. 176–179.

2. *Рекомендация* МСЭ-R ВТ.1368-6 (Критерии планирования для услуг наземного цифрового телевидения в диапазонах ОВЧ/УВЧ) [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.rfcmd.ru/sphider/docs/ITU-R_Rec_List_ANO_R.htm, свободный (дата обращения: 12.07.2010).

3. *Варбанский А.М.* Передающие телевизионные станции. М.: Связь, 1980. 328 с.

4. *Элементарные понятия статистики.* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm>, свободный (дата обращения: 24.01.2011).

УСКОРЕНИЕ ИТЕРАЦИОННЫХ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ СЛАУ ЗА СЧЁТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

В.К. Салов

г. Томск, ТУСУР, red_cat@ms.tusur.ru

При моделировании электродинамических задач на современных компьютерах возникает необходимость эффективного численного решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Нередко число неизвестных n в СЛАУ достигает миллиона и больше. При использовании прямых методов для решения систем линейных алгебраических уравнений требуется $\sim n^3$ арифметических операций. Кубическая зависимость числа арифметических операций от размера матрицы приводит при числе n больше миллиона к очень большому времени решения СЛАУ.

Ускорения можно добиться за счет использования итерационных методов решения СЛАУ. Так, если итерационный метод является быстросходящимся с числом итераций $m \ll n$, то время решения оказывается существенно меньше, чем при решении СЛАУ прямым методом. К сожалению, применение итерационных методов при решении математических задач не избавляет окончательно от проблем, возникающих при работе с матрицами больших порядков. Эти проблемы можно решить, используя параллельные вычисления, когда большое число вычислительных элементов одновременно работает над небольшими частями общей задачи, формируя, таким образом, очень мощный компьютер.

Параллельные вычисления можно производить в современных компьютерах на центральных процессорах, т.к. большинство из них поддерживает многопоточность. Также для этой цели подходят графические процессоры, т.к. они изначально разрабатывались для массивно-параллельных вычислений. К тому же сейчас появились техноло-

гии, с помощью которых легко можно организовывать неграфические вычисления на графических процессорах [1].

Для исследования возможностей ускорения итерационных методов был выбран стабилизированный метод бисопряженных градиентов (BiCGStab), показавший свою работоспособность при решении задач электромагнитной совместимости [2]. Программы реализованы на основе алгоритма, не использующего предобусловливатель матрицы СЛАУ [3].

Цель данной работы – сравнение производительности свободно распространяемых библиотек, выполняющих вычисления на центральном и графическом процессорах, на примере решения СЛАУ методом BiCGStab.

Для разработки программ для центрального процессора были использованы собственная реализация, а также библиотеки Eigen [4] и Atlas [5]. При написании собственной реализации использовались директивы OpenMP для распараллеливания алгоритма. Программы, выполняющиеся на графических процессорах, были реализованы как с помощью использования языка CUDA C, так и с помощью функций библиотеки CUBLAS. Для сравнения производительности были использованы рабочие станции, основные характеристики которых представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики платформ (* – понятие потока для центральных и графических процессоров различно, здесь имеется в виду возможность использования технологии Hyper-Threading)

Платформа	Частота процессора, МГц	Объём ОЗУ, Мб	Количество ядер/ количество потоков	Операционная система
CPU Intel Core 2Duo 4400	2000	2048	2/2	Windows XP
CPU Intel Core I7 970	3200	12288	6/12	Windows 7
GPU Tesla C1060	1300	4096	240/-*	Windows 7

Матрицы СЛАУ сгенерированы с помощью системы электродинамического моделирования TALGAT на основе реальной структуры. Производительность программ оценивалась по времени выполнения одной итерации. Полученные результаты приведены в табл. 2 и для наглядности представлены на рис. 1.

По полученным данным видно, что существенное ускорение времени выполнения итераций даёт использование графических процессоров совместно с использованием библиотеки CUBLAS. Собственная реализация программы для графических процессоров работала медленно из-за недостаточной её оптимизации.

Время выполнения одной итерации, мс

Порядок матрицы	CoreI7			Core2Duo			Tesla C1060	
	Собств. реал.	Atlas	Eigen	Собств. реал.	Atlas	Eigen	CUDA	CUBLAS
240	0,19	0,05	0,06	0,86	0,11	0,11	1,97	0,43
480	0,35	0,18	0,22	2,00	0,56	0,49	3,34	0,52
2400	6,52	7,89	10,00	31,78	21,92	23,64	44,76	2,44
4800	25,29	34,82	38,69	123,12	99,53	94,06	148,42	5,77
6000	37,39	56,35	61,25	192,50	147,19	146,10	260,62	8,32

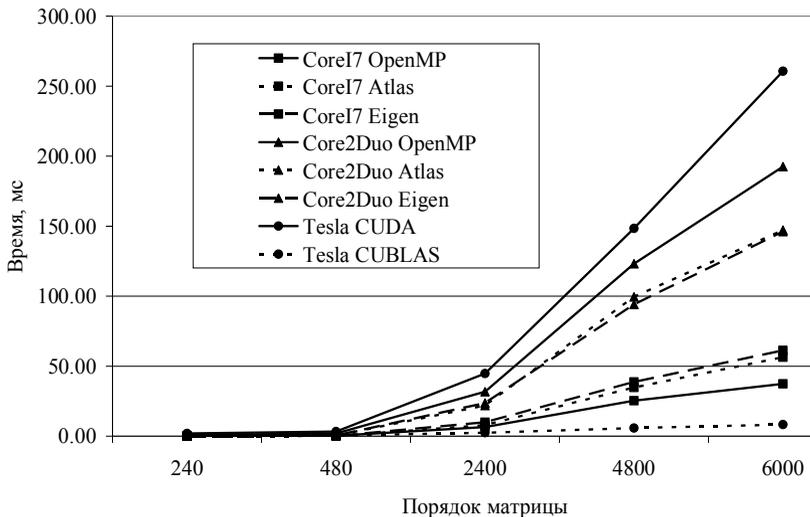


Рис. 1. Время выполнения одной итерации

Для вычислений на центральных процессорах целесообразно либо использование библиотеки Eigen (если используются однопоточные процессоры), либо собственная реализация программы с поддержкой многопоточности и использованием SSE-инструкций (если используются многоядерные процессоры). Также следует заметить, что в методе BiCGStab необходимо использовать предобусловливатель, т.к. без предобусловливателя метод либо медленно сходится, либо не сходится вообще.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://www.nvidia.ru/object/cuda_home_new_ru.html
2. Куксенко С.П. Алгоритмы и программное обеспечение для решения систем линейных алгебраических уравнений при анализе электромагнитного излучения проводных структур: дис. ... канд. техн. наук. Томск: ТУСУР, 2007.

3. Van der Vorst H.A. Bi-CGSTAB: A Fast and Smoothly Converging Variant of Bi-CG for the Solution of Nonsymmetric Linear Systems / SIAM Journal on Scientific and Statistical Computing. 1992. №13: P. 631–644.

4. <http://eigen.tuxfamily.org/>

5. <http://math-atlas.sourceforge.net/>

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦЕПЕЙ ЗЕМЛЯ–ПИТАНИЕ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ В СИСТЕМЕ TALGAT-2010

М.К. Смирнова, студентка 5-го курса,

А.М. Заболоцкий, научный сотрудник

г. Томск, ТУСУР, РФ, каф. ТУ, MKSmirnova@mail.ru

В настоящее время разработчиками бортовой аппаратуры (БА) для решения задач электромагнитной совместимости (ЭМС) используется компьютерное моделирование, которое может предотвратить повторные итерации в разработке или в создании прототипов. С помощью моделирования можно выявить следующие проблемы ЭМС в печатных платах: целостность сигналов, целостность питания, перекрестные помехи и т.д. Это позволяет в процессе проектирования устройства, а не в момент тестирования уже готовых образцов продукции выявить недостатки и внести необходимые коррективы.

Цель работы – выполнить моделирование цепей земля–питание печатного узла для модуля управления приводами БА.

Для выполнения моделирования печатных узлов используется система TALGAT [1]. На рис. 1 показаны шины схемной земли и питания от разъема (2X1) до первой микросхемы (DD6) и межслойные переходные отверстия.



Рис. 1. Рассматриваемый фрагмент

Структуры поперечных сечений фрагментов печатных плат (ПП) показаны на рис. 2. Параметры ПП: толщина $t = 0,1$ мм и ширина проводников $w = 2$ мм; толщина стеклотекстолита $h_2 = 0,32$ мм с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{r2} = 5,5$; толщина диэлектрического слоя $h_1 = 0,32$ мм с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{r1} = 5,4$. Для моделирования фрагмент 1 представляется в виде схемы из шести отрезков (рис. 2), где длины отрезков равны $l_1 = 31,8$ мм, $l_2 = 42,475$ мм, $l_3 = 10,575$ мм, $l_4 = 22,575$ мм, $l_5 = 13,8$ мм и $l_6 = 14,4$ мм (общая длина линии равна 135,625 мм); E_T – генератор ЭДС (амплитуда импульса равна 1 В, длительность времени фронта и спада $t_r = t_f = 1$ нс и длительность вершины $t_d = 10$ нс), который подключается дифференциально к двум линиям; $R_1 = R_4 = 13,6$ Ом – резисторы с сопротивлением, равным соответствующим диагональным элементам Z ; $V_1 - V_{16}$ – вычисляемые формы импульсного сигнала.

При моделировании учитывались неоднородности линий, такие как поворот проводника на 90° и межслойная перемычка. При этом прямой угол представлен в виде ёмкости, которая была вычислена следующим образом [2]:

$$C_1 = C_2 = C_3 = w \cdot C_{11} = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 5,4 \cdot 10^{-10} = 1,08 \cdot 10^{-12} \approx 1 \text{ пФ},$$

где w – ширина проводника, а C_{11} – погонный коэффициент электростатической индукции для отрезков 3 и 5.

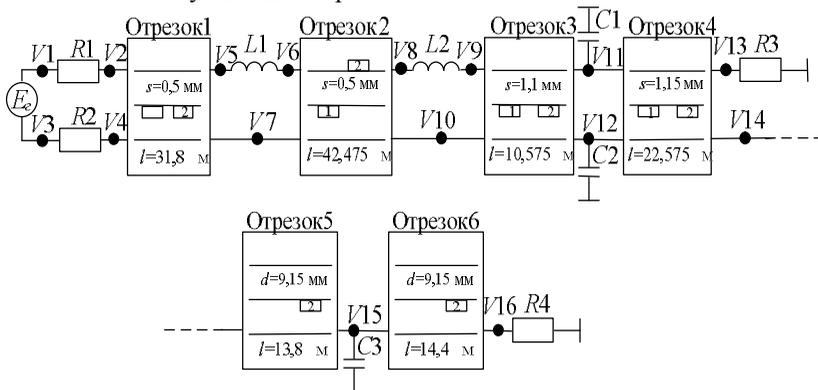


Рис. 2. Эквивалентная схема рассматриваемого фрагмента

Межслойные перемычки представлены в виде индуктивностей (L_1, L_2), которые при диаметре отверстия $d = 0,5$ мм и длине $h = 0,32$ мм равны [3].

$$L_1 = L_2 \approx \frac{h}{5} \cdot \left[1 + \ln \left(\frac{4h}{d} \right) \right] \approx \frac{0,32}{5} \cdot \left[1 + \ln \left(\frac{4 \cdot 0,32}{0,5} \right) \right] \approx 0,124 \text{ нГн.}$$

Полученные формы напряжения с учетом выше описанных неоднородностей представлены на рис. 3.

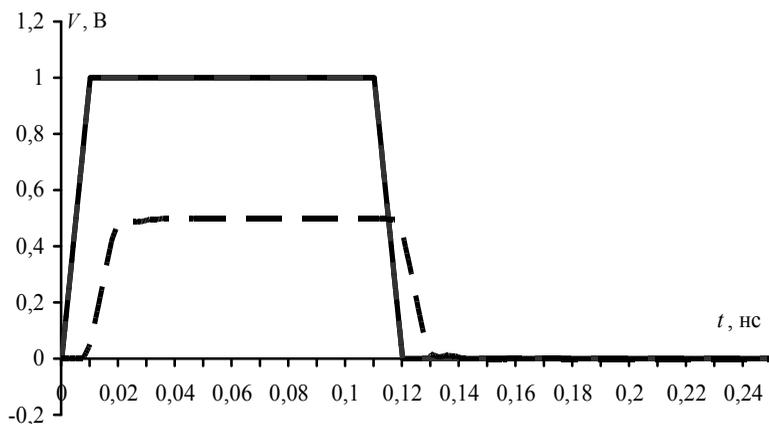


Рис. 3. Формы напряжения в начале (—) и конце линии (---)

В ходе работы также выполнялось моделирование схемы с учетом паразитных компонентов выводов корпуса цифровой микросхемы.

Таким образом, в данной работе представлены первые результаты моделирования отрезка цепей земля – питание печатного узла бортовой аппаратуры.

Результаты работы использованы в НИЛ «БЭМС РЭС» в ходе выполнения ОКР по госконтракту №95/10 от 24.11.2010 при поддержке Минобрнауки России в соответствии с договором 2148 от 05.07.2010 г. в порядке реализации Постановления №218 Правительства РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Свидетельство* о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010613497. TALGAT 2009. Авторы: Газизов Т.Р., Мелкозеров А.О., Газизов Т.Т. и др. Заявка №2010613497. Дата поступления 13 апреля 2010 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 20.05.2010.
2. *Flavio Canavero*. Signal Integrity and Electromagnetic Compatibility at board level: modeling // Electronics Department Politecnico di Torino, Italy/ Asean-Eu University Network Programme, July 18–22, 2005. Bangkok, Thailand, 2005.
3. *Джонсон Говард В., Грэхем Мартин*. Конструирование высокоскоростных цифровых устройств: начальный курс черной магии: Пер. с англ. М.: Изд. дом «Вильямс», 2006. 624 с.

ОБЗОР МЕТОДОВ БЛОЧНОГО LU-РАЗЛОЖЕНИЯ

Р.С. Суровцев, студент,

г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, dez_prn@sibmail.com

В большинстве современных систем компьютерного моделирования для решений различного рода задач требуется решение систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Одним из методов, применяемых при решении СЛАУ, является LU-разложение, часто требующее основных затрат времени. При моделировании в диапазоне параметров требуется многократное решение СЛАУ, приводящее к длительным вычислениям. Однако есть задачи, приводящие при изменении параметра не к полному изменению матрицы СЛАУ, а лишь к изменениям только определенных её элементов. Этот ресурс можно использовать для уменьшения общего времени многократного решения СЛАУ.

Цель данной работы – показать возможности такого ускорения на примере вычисления матрицы коэффициентов электростатической индукции системы проводников, в диапазоне параметров её диэлектриков. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи: выполнить обзор методов LU-разложения, использующих результаты предыдущего разложения; выбрать наиболее подходящий метод для программной реализации, с предварительной оценкой сложности реализации.

Для начала рассмотрим условия реализации LU-разложения [1].

Если все главные миноры квадратной матрицы \mathbf{A} отличны от нуля, то существуют такие нижняя \mathbf{L} и верхняя \mathbf{U} треугольные матрицы, что $\mathbf{A} = \mathbf{LU}$. Если элементы диагонали одной из матриц \mathbf{L} или \mathbf{U} , фиксированы (ненулевые), то такое разложение единственно.

LU-разложение предназначено для упрощения решения уравнения вида $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$. После разложения уравнение преобразуется к виду $\mathbf{LUx} = \mathbf{b}$.

Тогда мы имеем систему:

$$\begin{cases} \mathbf{Ly} = \mathbf{b}, \\ \mathbf{Ux} = \mathbf{y}. \end{cases}$$

Таким образом, решение данной системы с квадратной матрицей коэффициентов свелось к последовательному решению двух систем с треугольными матрицами коэффициентов. Такой процесс решения называется прямой и обратной подстановкой.

Стандартный последовательный алгоритм LU-разложения в условиях поставленной задачи реализовывать не выгодно, так как при изменении какого-либо параметра системы (такие изменения могут исчисляться сотнями, а иногда и тысячами раз) исходная матрица меня-

ется и для решения СЛАУ с новой матрицей приходится делать новое LU-разложение, что значительно увеличивает время решения самого СЛАУ. Поэтому выгоднее и практичнее с точки зрения быстродействия прибегать к так называемым «блочным» алгоритмам, которые позволяют использовать полученные ранее результаты.

При блочном разложении исходная матрица A , размера $n \times n$, разбивается на блоки размера $r \times r$ и каждый блок матрицы становится элементом новой составленной из этих блоков матрицы.

Рассмотрим наиболее известные методы «блочного» разложения матрицы A на L и U .

Метод 1 (блочная версия LU-разложения с внешним произведением (partitioned LU factorization)). Алгоритм этого способа является алгоритмом Донгарры – Айзенштата [2], но здесь роль элементов матрицы играют блоки. Суть метода заключается в том, что элементы матриц L и U формируются поочередно (построчно и постолбцово). Блочная версия LU-разложения с внешними произведениями может быть представлена следующим образом:

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{11} & 0 \\ L_{21} & I_{n-r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_r & 0 \\ 0 & S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{11} & U_{12} \\ 0 & U_{n-r} \end{bmatrix},$$

когда A_{11} размера $r \times r$.

Такой метод разложение описывается следующим алгоритмом [3]:

1. Разложить коэффициент $A_{11} = L_{11}U_{11}$.
2. Решить $L_{11}U_{12} = A_{12}$ для U_{12} .
3. Решить $L_{21}U_{11} = A_{21}$ для L_{21} .
4. Сформировать $S = A_{22} - L_{21}U_{12}$.
5. Повторить шаги 1–4 с S , чтобы получить L_{22} и U_{22} .

Метод 2 (block LU factorization (блочная гахру-версия LU-разложения)). В этом способе исходную матрицу разбивают на 4 блока, при этом блоки A'_{11} и A'_{22} должны быть квадратными, в противном случае матрицу не удастся разложить на L и U . Получившаяся после разложения матрица L будет являться нижнетреугольной, а матрица U не будет являться верхнетреугольной.

$$L = \begin{bmatrix} I & 0 \\ L_{21} & I \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} U_{11} & U_{12} \\ 0 & U_{22} \end{bmatrix},$$

где I – единичная матрица.

Этот метод описывается последовательностью действий [3]:

1. $U_{11} = A_{11}$, $U_{12} = A_{12}$.
2. Решить $L_{21}A_{11} = A_{21}$ для L_{21} ;
3. Сформировать $S = A_{22} - L_{21}U_{12}$.
4. Завершить LU разложение рекурсивно для S .

Рассмотрим методы с точки зрения предпочтительности для программной реализации. Модификация матрицы с помощью внешних произведений векторов занимает большое место в традиционных формулировках многих важных матричных алгоритмов. Оказывается, большинство этих алгоритмов можно переформулировать так, что доминирующей становится операция гахру [4]. Операция гахру – это вычисление вида $\mathbf{z} = \mathbf{y} + \mathbf{Ax}$, $\mathbf{x} \in \mathbf{R}^n$, $\mathbf{y} \in \mathbf{R}^m$, $\mathbf{A} \in \mathbf{R}^{m \times n}$. Для матриц размера $m \times n$ обе операции требуют $2mn$ флопов (флоп – это одна операция с плавающей точкой (floating point operation) [4]), но гахру при этом требует в два раза меньше векторных обменов.

Формулировки посредством гахру (должным образом реализованные), как правило, предпочтительнее формулировок посредством модификации внешним произведением. Это очень важное с вычислительной точки зрения положение. Поэтому в практике векторных вычислений следует применять те схемы матричных алгоритмов, которые интенсивно используют операцию гахру, а не модификацию внешними произведениями. С этой точки зрения для программной реализации выгоднее использовать второй метод, так как он основан на операции гахру.

Таким образом, в работе показаны возможные методы реализации «блочного» LU-разложения. Выбран оптимальный метод и представлен анализ сложности его программной реализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Куксенко С.П., Газизов Т.Р.* Итерационные методы решения систем линейных алгебраических уравнений с плотной матрицей. Томск: Томский государственный университет, 2007. 208 с.
2. *Ортега Дж.* Введение в параллельные и векторные методы решений линейных систем. М.: Мир, 1991.
3. *Nicolas J. Highman.* Accuracy and Stability of Numerical Algorithms – 2nd ed. SIAM. Philadelphia, 1961.
4. *Голуб Дж., Ван Лоун Ч.* Матричные вычисления. М.: Мир, 1999.
5. *Валях Е.* Последовательно-параллельные вычисления. М.: Мир, 1985.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЕЧАТНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА НА ПОДЛОЖКЕ ИЗ СТЕКЛОТЕКСТОЛИТА ПО КРИТЕРИЮ МАКСИМАЛЬНОЙ РАЗНОСТИ ПОГОННЫХ ЗАДЕРЖЕК МОД

А.С. Вахрушева, студентка; Е.С. Долганов, аспирант

г. Томск, ТУСУР, НИЛ «БЭМС РЭС», simply07@mail.ru

Обеспечение электромагнитной совместимости радиоэлектронной аппаратуры становится всё более важным для получения её высоких характеристик. Для защиты от кондуктивных импульсных помех предложена модальная фильтрация, которая заключается в делении импульса помехи на импульсы с меньшими амплитудами [1]. Она может быть реализована в виде печатных модальных фильтров. В качестве основного компонента модального фильтра выбрана структура на основе печатных проводников, расположенных с двух сторон подложки из широко применяемого стеклотекстолита (рис. 1), рассмотренная в работе [2]. Детальное исследование данной структуры [3] показало, что модуль разности погонных задержек мод структуры при малой толщине подложки имеет ярко выраженный максимум. Этот максимум, а также резкое изменение поведения характеристики при уменьшении толщины диэлектрика (от 1 до 0,5 и 0,25 мм) весьма интересны для более детального исследования. Цель данной работы – провести исследование параметров печатного модального фильтра в диапазоне толщин диэлектрического слоя от 0,25 до 1 мм.

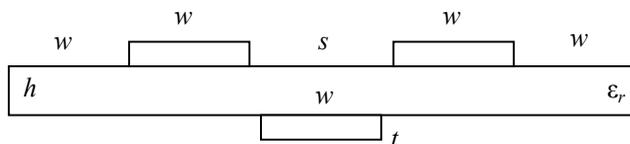


Рис. 1. Поперечное сечение исследуемой структуры

Данная структура исследована для толщин диэлектрического слоя $H = 0,25-1$ мм с шагом 0,05 мм (где $H = h + 2t$) и проводников $t = 35; 50; 70; 105$ мкм и для расстояния между верхними проводниками $s = 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$ мм. Ширина проводников w менялась в диапазоне от 0,2 до 2,5 мм. В системе TALGAT [4] построено поперечное сечение структуры, получены её матрицы L, C, Z , а из них – зависимости волнового сопротивления и амплитуд импульсов разложения, а также абсолютной и относительной разностей погонных задержек мод от ширины проводников w . Построено 64 графика (по 16 для каждой характеристики), каждый из которых содержит 16 кривых. В качестве примера на рис. 2, а приведен график зависимости модуля разности по-

гонных задержек мод структуры от толщины диэлектрического слоя для значений $s = 0,4$ мм, $t = 105$ мкм, обеспечивающих наилучшие параметры.

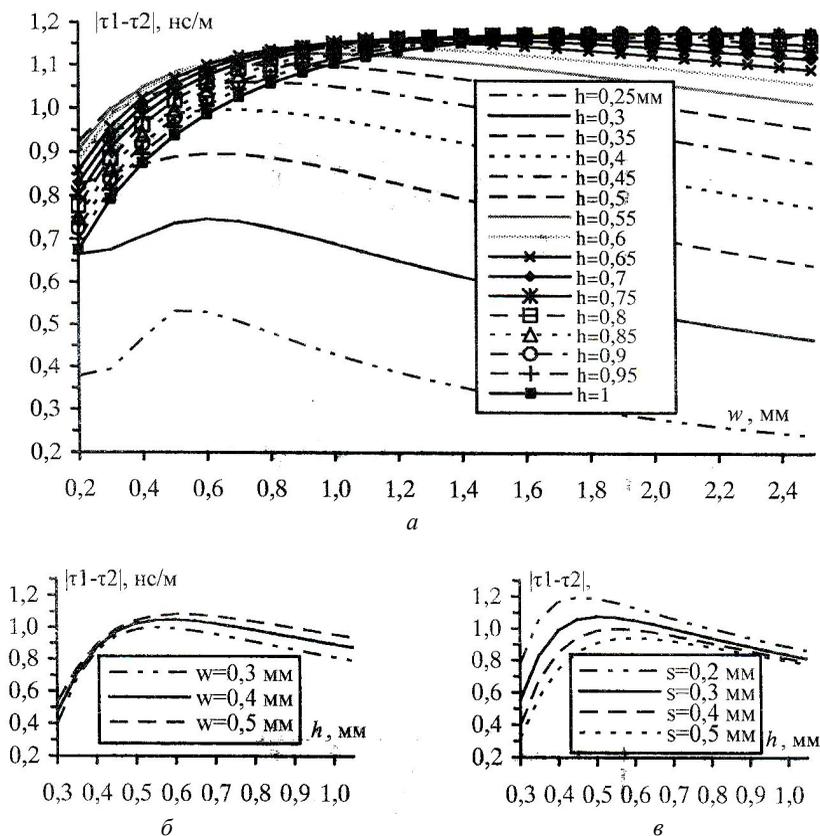


Рис. 2. Графики зависимостей модуля разности задержек мод структуры (при $t = 105$ мкм) от: a – ширины проводников; b – толщины диэлектрического слоя для трех значений ширины проводников при $s = 0,4$ мм; $в$ – толщины диэлектрического слоя для четырех значений расстояния между проводниками при $w = 0,3$ мм

На основе графических данных, представленных на рис. 2, можно сделать следующие выводы.

При увеличении толщины подложки, кривая модуля разности погонных задержек мод структуры становится более полой, при этом она имеет возрастающий характер, т.е. достигает своего максимума в области больших ширин проводников ($w = 2,0$ – $2,4$ мм). При мини-

мальной толщине подложки кривая имеет ярко выраженный максимум в области ширины проводников 0,4–0,8 мм в зависимости от толщины проводников (рис. 2, а). С увеличением ширины проводников значение модуля разности погонных задержек мод увеличивается, кривая не изменяет свой характер (рис. 2, б). При увеличении расстояния между верхними проводниками кривая становится более пологой, а максимум сдвигается в сторону больших толщин подложки (рис. 2, в).

При исследовании структуры выявлена новая закономерность поведения ее характеристики. А именно, зависимость модуля разности погонных задержек мод структуры от толщины подложки имеет максимум в окрестности $H = 0,5$ мм (см. рис. 2, б). Это позволит реализовать более точный выбор параметров и получить наилучшие характеристики, а также получить минимальную чувствительность к разбросу значений толщины подложки.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в соответствии с договором 2148 от 05.07.2010 г. в порядке реализации постановления №218 Правительства РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Газизов Т.Р., Заболоцкий А.М. Модальное разложение импульса в отрезках связанных линий как новый принцип защиты от коротких импульсов. Технологии ЭМС. 2006. №4. С. 40–44.
2. Самотин И.Е. Условие выравнивания амплитуд импульсов на выходе модального фильтра // Технологии ЭМС. 2010. №4 (35). С. 31–34.
3. Вахрушева А.С., Долганов Е.С. Исследование характеристик печатного модального фильтра на подложке из стеклотекстолита // Матер. науч.-техн. конф. молодых специалистов ОАО «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнева» «Разработка, производство, испытания и эксплуатация космических аппаратов и систем». Железногорск, 2011. С. 85–87.
4. www.talगत.org.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ШЛЕЙФОВ ОХРАННЫХ ПАНЕЛЕЙ

*М.И. Васильева, Е.Г. Степанова, студентки 4-го курса,
А.Ю. Латышев, ст. преподаватель
г. Томск, ТУСУР, РТФ, manya_tomsk@sibmail.com*

Шлейф (охранно-пожарная сигнализация) – электрическая цепь, соединяющая выходные цепи извещателей, включающая в себя вспомогательные элементы и соединительные провода и предназначенная для передачи на приемно-контрольный прибор извещений, а в некоторых случаях и для подачи электропитания на извещатели [1].

Шлейфы сигнализации вместе с линиями связи с внешними устройствами входят в состав линейной части сигнализации. Шлейф имеет свой нормальный ток, определяемый величиной оконечного сопротивления, а также, в меньшей степени, внутренним сопротивлением датчиков. Рассмотрим основные типы шлейфов.

1. Нормально замкнутые и нормально разомкнутые

В первом типе используется последовательное включение нормально замкнутых контактов реле извещателей в шлейф, а во втором – параллельное включение нормально разомкнутых контактов. Однако в обоих случаях случайное или умышленное закорачивание (или обрыв) шлейфа делает его невосприимчивым к нарушению.

2. Шлейф с оконечными резисторами (ШОР) и с оконечными резисторами повышенной информативности (ШОР ПИ)

В ШОР включаются последовательно нормально замкнутые контактные реле извещателей или параллельное включение нормально разомкнутых контактных реле. В ШОР главное, чтоб резистор находился в конце шлейфа, чтобы контролировать обрыв или замыкание шлейфа. Шлейфы с оконечными резисторами повышенной информативности сохранили преимущества ШОР, однако по шлейфу также можно передать дополнительный информационный сигнал. Короткое замыкание соответствует тревоге, а обрыв – вмешательству (при тревоге происходит удвоение сопротивления шлейфа) [2].

В процессе рассмотрения нами видов шлейфов, а также непосредственного анализа и сравнения мы пришли к выводу, что в работе, которой мы занимаемся, целесообразней использовать шлейф с оконечными резисторами для повышения защищенности охранной панели от внешнего вмешательства. При этом мы будем различать пока только два состояния – охрана или тревога. В нашей работе этим устройством выступают как компаратор, так и АЦП, при помощи которых мы можем контролировать два порога, в пределах которых наша система будет находиться в режиме охраны, а всё, что находится за пределами этих порогов, устройство должно считать и выдать сигнал тревоги на контрольную панель. Для начала рассмотрим реализацию контроля резистивного шлейфа при помощи компаратора.

Компаратор (аналоговых сигналов) – электронная схема, принимающая на свои входы два аналоговых сигнала и выдающая логический «0» или «1», в зависимости от того, какой из сигналов больше [1]. В наших исследованиях необходим двухпороговый компаратор, который фиксирует, находится ли входное напряжение между двумя заданными пороговыми напряжениями или вне этого диапазона. Для реализации такой функции выходные сигналы двух компараторов необходимо подвергнуть операции логического умножения (рис. 1, а).

Как показано на рис. 1, б, на выходе логического элемента единичный уровень сигнала будет иметь место тогда, когда выполняется условие $U_1 < U_{вх} < U_2$, так как в этом случае на выходах обоих компараторов будут единичные логические уровни.

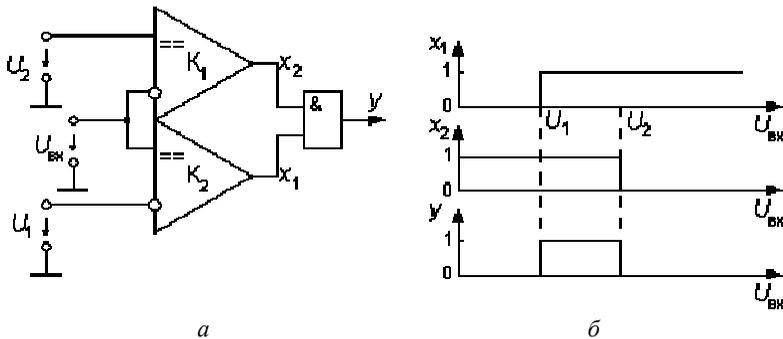


Рис. 1. Схема двухпорогового компаратора (а) и диаграмма его работы (б)

Теперь перейдём к рассмотрению реализации контроля резистивного шлейфа при помощи АЦП.

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП, *Analog-to-digital converter, ADC*) – устройство, преобразующее входной аналоговый сигнал в дискретный код (цифровой сигнал) [1].

Для начала в работе с АЦП зададимся количеством отсчетов от 0 до 1024. В симуляторе определим количество отсчетов при изменении сопротивления шлейфа. В итоге мы насчитали от 2 до 933. Затем задаем интервал, в пределах которого система будет находиться в режиме «охрана» (928...618), а всё, что будет находиться за этими пределами, система считает как «тревога». На рис. 2 мы можем увидеть наглядный пример.



Рис. 2. Количество отсчетов, которые насчитал АЦП

Также мы столкнулись с тем, что необходимо защитить компаратор, а также саму микросхему по входу от перенапряжения. Для этого можно использовать схему защиты в виде ограничивающего ток резистора и стабилитрона для ограничения напряжения и тока на входе компаратора.

В итоге мы рассмотрели и применили на практике способы контроля порогов режима «охрана» и режима «тревога» при помощи АЦП и сдвоенного компаратора, а также попытались обезопасить нашу схему по входу от перенапряжения. Следующим важным выводом является то, что при реализации шлейфов использование компаратора позволит распознавать только два режима – охрана и тревога. Применение АЦП в дальнейшем может позволить реализовать шлейф ОС повышенной информативности, т.е. появляется возможность контроля следующих состояний (короткое замыкание, охрана, тревога, обрыв).

Выполнено в рамках проекта ГПО ТУ-0905.

ЛИТЕРАТУРА

4. *Магаусков Р.Г.* Системы охранной сигнализации: основы теории и принципы построения. М., 2002. 238 с.
5. *Синилов В.Г.* Системы охранной, пожарной и охранно-пожарной сигнализации. М., 2004. 352 с.

СЕКЦИЯ 4

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИМЕДИЦИНСКОЙ АППАРАТУРЫ

*Председатель – Еханин С.Г., профессор КУДР, д.ф.-м.н.,
зам. председателя – Романовский М.Н., доцент каф. КУДР, к.т.н.*

ИЗУЧЕНИЕ ДЕГРАДАЦИИ СВЕТОДИОДНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ ВАХ В ОБЛАСТИ МИКРОТОКОВ

*Д.В. Богатырева, Н.В. Сапегина, М.А. Тимохина, студентки
3-го курса, А.А. Томашевич, аспирант*

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

В последнее время человечество стало переходить на более экономичные источники освещения. Одними из таких источников являются осветительные приборы на основе сверхъярких светодиодов.

Из известных преимуществ сверхъярких светодиодных источников необходимо отметить [1]: высокую светоотдачу (160 лм/Вт и более); высокую надежность, обеспечивающую до 100 тыс. часов безотказной работы; высокий квантовый выход и КПД (60–80%); устойчивость к механическим воздействиям (не имеют стеклянных колб, как в лампах накаливания и люминесцентных лампах); высокую экологичность (производство не наносит экологического вреда окружающей среде в отличие от люминесцентных ламп, в которых используются пары ртути).

Таким образом, светоизлучающие сверхъяркие светодиоды (СИД) являются перспективными элементами приборов твердотельного освещения. В качестве примера можно отметить экономию электроэнергии (в 8 раз по сравнению с лампами накаливания).

Несмотря на рекордную долговечность, процессы деградации продолжают оставаться важной проблемой для СИД. Например, при сравнительно недолгой эксплуатации светодиодов могут изменяться спектр, яркость излучения, предельные характеристики светодиодов и др.

Деградацию светодиодов можно исследовать различными способами (прецизионными измерениями интенсивности и спектра свечения, изучением неоднородностей картин свечения в видимой и ИК-

областях, измерением величины локального перегрева в активной области, изучением структурных изменений, с помощью изучения изменений вольт-амперной, вольт-яркостной, вольт-фарадной характеристик и др.).

Исследование деградации светодиодных гетероструктур методом измерения ВАХ является наиболее дешевым и легко реализуемым методом. Согласно статье [2], основным механизмом деградации при протекании больших прямых токов через светодиод является диффузионное перераспределение примесей в гетеропереходах и неустойчивости в области контактов. По мнению многих авторов, при работе сверхъярких светодиодов в реальных условиях наибольшее изменение электрофизических характеристик происходит в области микротоков $10^{-4} - 10^{-3}$ А, что и можно наблюдать на ВАХ.

Для отладки данного метода изучения деградации были исследованы ВАХ гомогенных светодиодов до и после испытаний.

ВАХ строилась следующим образом. Напряжение измерялось непосредственно на самом диоде при помощи мультиметра. Ток диода принимался равным току в цепи питания светодиода и рассчитывался как отношение напряжения на нагрузке к сопротивлению нагрузки.

На рис. 1 изображена ВАХ красного светодиода (FYL – 5013URC) до и после деградации. 1 – ВАХ до испытаний; 2 – ВАХ светодиода после выдерживания его при токе 200 мА 2 ч 20 мин; 3 – ВАХ светодиода после выдерживания его при токе 208 мА еще 40 мин.

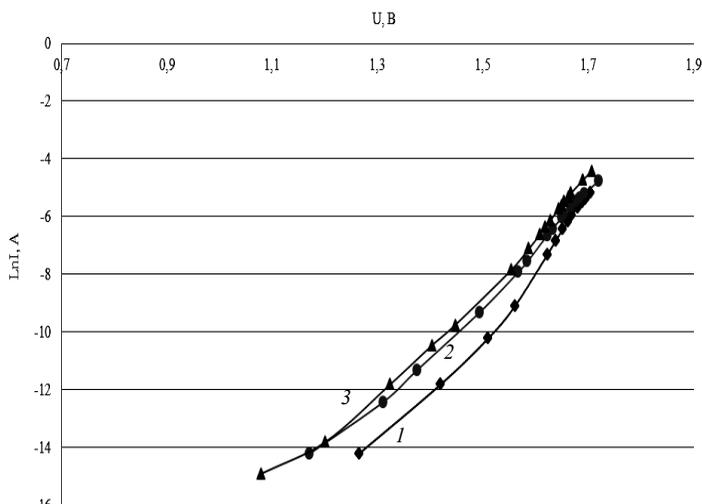


Рис. 1. ВАХ красного светодиода на основе арсенида галлия в логарифмическом масштабе

Как видно из рис. 1, при одном и том же напряжении ($U = 1,3 \text{ В}$), токи от испытания к испытанию увеличиваются, что свидетельствует о деградации светодиода. Увеличение тока, протекающего через светодиод, по-видимому, обусловлено тем, что возникает дополнительный ток, проходящий через область с повышенной электропроводностью, вызванной диффузией примесей в некоторые локальные области перехода с нарушенной структурой.

По-видимому, деградацию светодиодов можно объяснить так же, как и в статье [3], локальным перегревом, который возникает из-за: неоднородности протекания тока (за счет эффекта растекания тока); неоднородности инжекции; неоднородности структуры.

Локальный перегрев ведет к дополнительному нарушению структуры p - n -перехода и образованию в нем участков с повышенной электропроводностью.

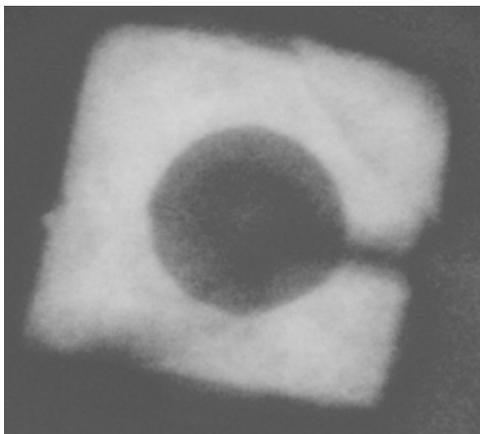


Рис. 2. Картина свечения красного светодиода (FYL – 5013URC)

На рис. 2 приведена картина свечения красного светодиода марки (FYL – 5013URC) после испытаний, описанных выше. На картине свечения особых изменений пока не наблюдается. Таким образом, метод исследования деградации с помощью ВАХ является более чувствительным, так как регистрирует изменения в структуре на более раннем этапе.

Выполнено в рамках проекта ГПО КУДР-1003 – «Изучение деградации светодиодных гетероструктур».

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаман В.И. Физика полупроводниковых приборов. Томск: Изд-во ТГУ, 1989. 336 с.
2. Полищук А., Туркин А. Деградация полупроводниковых светодиодов на основе нитрида галлия и его твердых растворов // Компоненты и технологии. 2008. №2.
3. Маняхин Ф.И. // ЖПФ. 1995. Т. 3, вып. 4.

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ГЕНЕРАТОР ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ

*Ю. Дроздов, студент 3-го курса; А.А. Томашевич, аспирант
Научный руководитель С.Г. Еханин, проф. каф. КУДР, д.ф.-м.н.,
г. Томск, ТУСУР, каф. КУДР, stalker@mail.tusur.ru*

Данное устройство используется для того, чтобы создавать в тонких слоях щелочно-галоидных кристаллов (ЩГК) сверхсильное электрическое поле и исследовать в ЩГК механизмы дефектообразования, электронно-оптических процессов и других явлений [1]. С помощью данного генератора импульсное высоковольтное напряжение подается на образец, и на экране осциллографа можно наблюдать импульсы тока и свечения, характеризующие поведение образца ЩГК при электрическом старении и пробое.

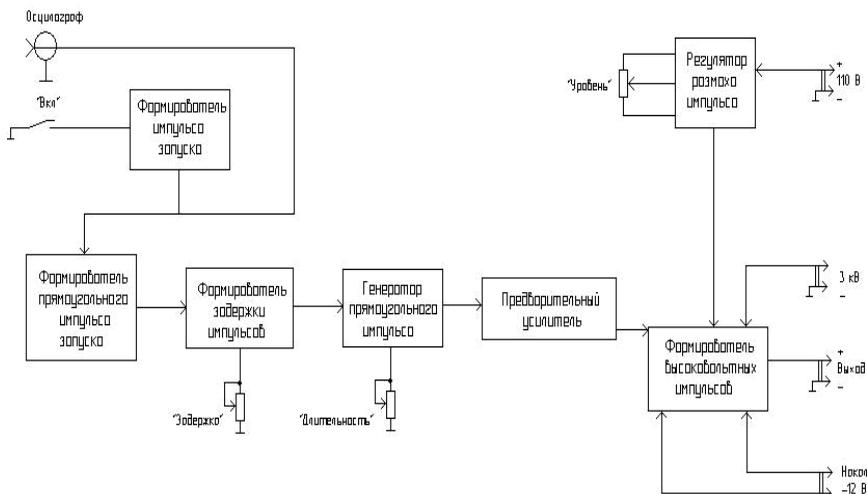


Рис. 1. Структурная схема высоковольтного генератора прямоугольных импульсов

Генератор запускается с помощью специальной цепи, устраняющей дребезг контактов. В результате этого импульс запуска имеет остроконечную, затухающую по экспоненте форму. Выработываемый остроконечный импульс поступает на запуск развертки осциллографа и подается на ждущий мультивибратор, который формирует прямоугольный импульс запуска необходимой амплитуды и длительности, собранный на элементах (К1533ЛА7). Этим импульсом запускается ждущий генератор, формирующий время задержки импульса относи-

тельно начала запуска, собранный также на микросхеме (К1533ЛА7). Длительность задержки формируется RC цепочкой и регулируется переменным резистором.

После формирования необходимой задержки запускается генератор прямоугольного импульса, который формирует импульс необходимой амплитуды и длительности, тем самым позволяя запустить предварительный высоковольтный усилитель, усиливающий амплитуду сигнала до 180 В. Задающий генератор также является ждущим мультивибратором. Переменным резистором времязадающей цепи регулируется длительность импульса. Сформированный импульс через инверторы (К1533ЛН2) подается на высоковольтный усилитель-формирователь, собранный на транзисторах КТ969А. Для регулировки амплитуды служит схема регулятора размаха импульса. Регулятор напряжения питания ключа выполнен на транзисторах КТ6115А и КТ8156А. Регулировка напряжения и амплитуды выходного импульса осуществляется переменным резистором.

Этой амплитуды хватает для того, чтобы запустить окончательный формирователь высоковольтных импульсов амплитуды до 3 кВ. На управляющий электрод окончательного усилителя (на лампе ГИ-30), подается положительный прямоугольный импульс напряжением 180 В. При этом высоковольтный конденсатор разряжается через лампу и на образце появляется высокое импульсное напряжение.

Для работы высоковольтного генератора необходимо стабилизированное высоковольтное напряжение до 3 кВ и, поскольку окончательный усилитель мощности работает на электронной лампе (ГИ-30), требуется подать накал в 12 В.

В дальнейшем в этом генераторе планируется заменить лампу окончательного усилителя на полупроводниковый высоковольтный ключ, работающий до напряжения 3 кВ, в качестве такого ключа может использоваться, например, тиристор ТБИ933-250-36.

Выполнено в рамках проекта КУДР-0903 – «Исследование наноструктурных объектов».

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев Г.А., Еханин С.Г., Несмелов Н.С. Физика твердых диэлектриков, область сверхсильных электрических полей // Изв. вузов. Физика. 2000. Вып. 8. С. 26–35.

ОЦЕНКА КОНЦЕНТРАЦИИ АЭРОИОНОВ НА ВЫХОДЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ И ИОНИЗАТОРА ВОЗДУХА

*А.В. Ермолаев, К.В. Мотрунчик, студенты 4-го курса
Научный руководитель С.Г. Еханин, проф. каф. КУДР, д.ф.-м.н.,
г. Томск, ТУСУР, aleaxe@sibmail.com*

Для обеспечения автоматического регулирования работой электростатического пылеуловителя и ионизатора воздуха [1] необходимы датчики пыли, аэроионов и озона, без которых устройство не сможет обеспечить их заданную концентрацию. Однако вначале произведем оценку концентрации аэроионов на выходе работающего макета ионизатора воздуха.

На рис. 1 представлена схема измерения тока аэроионов.

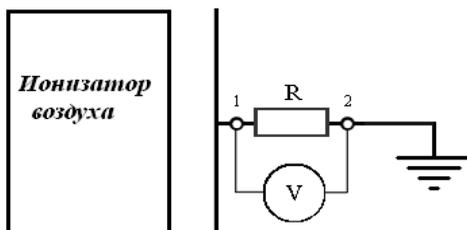


Рис. 1. Схема измерения величины тока аэроионов

К медной пластине площадью $S = 156 \text{ см}^2$ подключается измерительный резистор и заземляется. Пластина подносится к ионизатору воздуха и с помощью вольтметра с высоким входным сопротивлением, подключённого к зажимам 1 и 2, определяется напряжение на резисторе. Зная сопротивление резистора, можно рассчитать ток ионизации.

Вот некоторые данные, полученные при измерении по этой схеме: расстояние (d) между выходом ионизатора и медной пластиной $d = 50 \text{ мм}$; напряжение (U_{Π}), приложенное к ионизатору, $U_{\Pi} = 40 \text{ кВ}$; напряжение на измерительном резисторе $U_R = 0,5\text{В}$; сопротивление измерительного резистора (R) $R = 880 \times 10^3 \text{ Ом}$; величина тока аэроионов $I = 0,6 \text{ мкА}$.

Максимальную концентрацию аэроионов, зная плотность тока и среднюю подвижность легких аэроионов $\mu = 1 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, можно определить из закона Ома в дифференциальной форме:

$$n = \frac{j}{e \cdot \mu \cdot E} = \frac{3,8 \cdot 10^{-9}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8 \cdot 10^3} \approx 0,3 \cdot 10^7 \text{ 1/см}^3.$$

В таблице приведены справочные данные по измерению концентрации отрицательных аэроионов [3].

Сравнительное содержание аэроионов в воздухе различных местностей

Место определения концентрации	Концентрация отрицательных аэроионов в 1 см ³ воздуха
Воздух городских квартир	5–100
Воздух городских улиц	100–500
Лесной и морской воздух	1000–5000
Воздух горных курортов	5000–10000
Воздух у водопада	10000–50000
Воздух после грозы	50000–1000000

Как видно из таблицы, максимальная концентрация аэроионов на выходе ионизатора соответствует концентрации аэроионов в воздухе после сильной грозы. Таким образом, производительность отрицательных аэроионов в устройстве достаточна для обеспечения любого случая, который может быть реализован в природе.

Нормы СНИП № 2152-80 на содержание отрицательных аэроионов в воздухе производственных и общественных помещений составляют: необходимый минимум – 600 ионов/см³; оптимальный уровень – 3000–5000 ионов/см³. Эти данные не противоречат и СанПиН 2.2.4.1294-03 «Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений».

Выполнено в рамках проекта ГПО КУДР-0902 – «Электронный пылеуловитель и ионизатор воздуха».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ермолаев А.В., Мотрунчик К.В.* Электронный пылеуловитель и ионизатор воздуха // Научная сессия ТУСУР-2010: Матер. докл. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных, Томск, 4–7 мая 2010 г. Томск: В-Спектр, 2010. Ч. 1. С. 199.

ОЦЕНКА КОНЦЕНТРАЦИИ РАДОНА И ЕГО ПРОДУКТОВ РАСПАДА В ГЛАВНОМ КОРПУСЕ ТУСУРА

*К.В. Майборода, С.В. Прилипкин, студенты 4-го курса
Научный руководитель С.Г. Еханин, проф. каф. КУДР, д.ф.-м.н
г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, affable07@mail.ru*

Лишь недавно ученые выяснили, что наибольший вклад в радиоактивное облучение человека вносит этот невидимый, не имеющий вкуса и запаха газ, который в 7,5 раза тяжелее воздуха. Радон ответст-

вен за 3/4 годовой индивидуальной эффективной эквивалентной дозы облучения (ЭЭД), получаемой населением от земных источников радиации и примерно за половину этой дозы от всех естественных источников радиации [1].

Радон является химически инертным природным радиоактивным газом, не имеющим запаха, цвета и вкуса. Он образуется в процессе природного радиоактивного распада урана, который обнаруживается в каменных породах и почве. Радон легко выделяется из почвы в воздух, где он распадается на недолговечные продукты, называемые дочерними продуктами радона (ДПР). Считается, что из всех изотопов радона наибольший вклад в ЭЭД вносит ^{222}Rn , что примерно в 20 раз больше вклада ^{220}Rn . Самый короткоживущий из изотопов радона – ^{219}Rn – имеет период полураспада 3,9 с, дает небольшой вклад в общую дозу облучения, им можно пренебречь. ЭЭД формируется в основном не за счет самого радона, а за счет его ДПР, которые являются альфа-, бета-, гамма-излучателями. Доза от самого радона составляет лишь 1% ЭЭД. При этом большую часть ЭЭД человек получает при ингаляции радона и его ДПР, особенно при нахождении в непроветриваемых помещениях [2]. При распаде дочерние продукты радона выделяют радиоактивные альфа-частицы и прикрепляются к аэрозолям, пылинкам и другим частицам, содержащимся в воздухе. При дыхании дочерние продукты радона осаждаются в клетках, выстилающих дыхательные пути, где альфа-частицы могут повредить ДНК и потенциально привести к развитию рака легких. Наиболее опасен радон для детей, в силу более низкой сопротивляемости их организма.

В жилые помещения радон проникает из микротрещин горных пород, выделяется из строительных материалов, из которых строятся дома, приносится с водопроводной водой, бытовым газом. Радон может скапливаться в основном в подвалах, куда он просачивается из грунта сквозь плохо заделанные швы строительных конструкций. На верхних этажах все гораздо лучше, однако чтобы избежать риска отравления, нужно часто проветривать помещение – практически постоянно, а в условиях нашего холодного климата это сложно. Поэтому, чтобы убедиться в безопасности жилых и производственных помещений, производятся замеры концентрации радона.

В данной работе приведены результаты оценки концентрации радона в подвальных помещениях главного корпуса ТУСУРа.

Оценки концентрации радона и его дочерних продуктов проводились с помощью измерителя альфа-излучения, разработанного в СКБ «Сталкер». Прибор представляет собой ноутбук и газоразрядный счетчик Гейгера–Мюллера (СБТ-11), позволяющий регистрировать не только гамма-, бета-, но и альфа-излучение. Принцип работы устрой-

ства основан на считывании импульсов напряжения, возникающих в счетчике Гейгера в момент возбуждения его ионизирующей частицей. На задней крышке прибора напротив детекторного окна имеется передвижной экран. Так как у альфа-частиц проникающая способность невелика и их задерживает обычный лист бумаги, для определения концентрации альфа-излучения необходимо провести два измерения: сначала с открытым экраном, затем с закрытым. Разность между этими измерениями и составит значение альфа-излучения. Кроме того, проводилось сравнение уровня радиации в подвальных помещениях и в аудиториях на верхних этажах главного корпуса, где ожидается минимальное содержание радона в воздухе. Помещения на верхних этажах перед измерениями тщательно проветривались.

Как показали измерения, средний период и доверительный интервал попадания радиоактивных частиц в датчик в подвальных помещениях составлял 3875 ± 645 мс, а в помещениях четвертого этажа главного корпуса – 5562 ± 571 мс. Концентрация радона и его дочерних продуктов определяется разностью показаний излучения в подвальных помещениях и в помещениях на четвертом этаже и составляет ~ 280 Бк/м³, что превышает предельно допустимую концентрацию в 200 Бк/м³.

Беккерель (Бк) – единица международной системы мер, и обозначает активность радионуклида, эквивалентную одному распаду в секунду.

Данная предельная концентрация (200 Бк/м³) установлена санитарными правилами СП 2.6.1.799–99 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ–99)». Согласно действующим в настоящее время в РФ Нормам радиационной безопасности допустимая концентрация радона в воздухе не должна превышать 100 Бк/м³ для зданий, построенных после 1999 г., и 200 Бк/м³ для ранее построенных зданий.

Однако исследования, проведенные в Европе, Северной Америке и Китае, подтвердили, что даже достаточно низкие уровни концентрации радона, такие как уровни в домах (~ 50 Бк/м³), также представляют риски для здоровья и в значительной мере способствуют заболеваемости раком легких во всем мире [3]. При возрастании концентрации радона на 100 Бк/м³ риск развития рака легких увеличивается на 16%. Соотношение доза–ответ является линейным, т.е. риск развития рака легких возрастает прямо пропорционально возрастанию воздействия радона.

О негативном влиянии радонового излучения на организм впервые заговорили в США. Исследования показали, что около 20 000 раковых заболеваний связаны с радоном и продуктами его распада. В

странах Европы также проблема радона стоит довольно остро, да и Россию этот вопрос затронул. Недавние **замеры концентрации радона** в России (С.-Петербург, города Дальнего Востока) показали, что его норма превышена во многих населенных пунктах, и эта проблема беспокоит жителей городов достаточно сильно, ведь онкология – это не та проблема, на которую можно не обращать внимания [3]. Поэтому необходимо производить замеры концентрации радона, и особенно там, где живут люди.

Конечно, производить замеры концентрации радона должны организации, имеющие необходимые сертификаты и специальное оборудование. Результаты исследований в обязательном порядке сверяются с действующими санитарно-гигиеническими нормами РФ. Желательно еще, чтобы они отвечали и нормам Всемирной организации здравоохранения, согласно которым особо опасными считаются – 400 Бк/м³ и более; опасными – 200–400 Бк/м³; умеренно опасными – 100–200 Бк/м³; условно безопасными – 50–100 Бк/м³; безопасными – 50 Бк/м³ и ниже.

Выполнено в рамках проекта ГПО КУДР-0810 – «Устройство поиска гепатогенных зон».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Банникова Ю.А.* Радиация, эффекты, дозы, риск. М.: Мир, 1988. 93 с.
2. *Радионуклиды* и производственная деятельность человека: Справ. изд. / Под ред. Л.А. Булдакова, В.С. Калистратовой. М., 1997. 144 с.
3. *Радон и рак* // Инф. бюллетень ВОЗ. 2009. № 291. Сентябрь.

БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ И ИОНИЗАТОРА ВОЗДУХА

А.В. Ермолаев, К.В. Мотрунчик, студенты 4-го курса

Научный руководитель С.Г. Еханин, проф. каф. КУДР, д.ф.-м.н.

г. Томск, ТУСУР, aleaxe@sibmail.com

Электростатический пылеуловитель и ионизатор предназначены для очистки воздуха от вредных для здоровья человека пыли, грибков плесени, других микроорганизмов и вирусов, для ионизации воздуха отрицательными ионами (полезными для человека) [1].

Применение таких устройств в жилых, административных, производственных, детских учреждениях, позволяет существенно улучшить качество воздуха, снизить вредные факторы окружающей среды, тем самым уменьшить распространение вирусных инфекций, повысить сопротивляемость организма к действию неблагоприятных факторов. Автоматизированное управление работой прибора позволит улучшить

контроль работы датчиков, и как следствие повысится качество воздуха на выходе прибора.

Существует много способов построения схем управления. Например, на простой логике или с использованием микроконтроллеров (МК). Второй способ становится всё популярней, в связи с высоким быстродействием, экономичностью и простотой создания приложений на основе МК.

На рынке электроники представлено большое количество фирм, занимающихся разработкой и производством МК. Вот некоторые яркие представители этой области: STMicroelectronics, Atmel, MicroCHIP. Из представленных марок был выбран MicroCHIP.

Продукция этого изготовителя представлена тремя семействами – 8-битные, 16-битные и 32-битные микроконтроллеры. Рассмотрим 8-битные микросхемы. Тактовая частота данной серии варьируется от 4 до 10 МГц, в распоряжении имеется 64 байта памяти EEPROM, напряжение питания от 2–6 В, потребляемый ток в стандартном режиме от 1,8 до 4,5 мА при 4 МГц и от 5–10 мА при 10 МГц, в режиме SLEEP 7–28 мкА [2].

Рассмотрим работу блока управления на МК по приведённой на рис. 1 структурной схеме прибора. МК (5) первоначально, при включении питания производит запуск устройства (1) и проверяет его исправность, опрашивает датчики (2, 3, 4, 8), после чего выводит информацию на ЖК-дисплей (9).

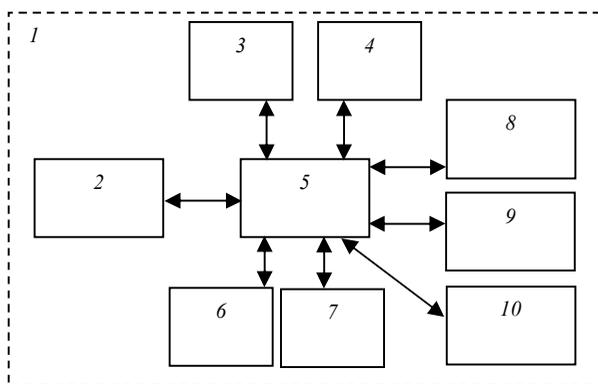


Рис. 1. Структурная схема электростатического пылеуловителя ионизатора воздуха – 1, где 2 – датчик озона; 3 – датчик ионов; 4 – датчик температуры; 5 – блок управления на МК; 6 – блок питания МК; 7 – блок питания высоковольтной части; 8 – датчик пыли; 9 – ЖК-дисплей; 10 – вентилятор (компрессор) и ионизатор

Одновременно с этим происходит сравнение полученной информации с допустимой величиной озона, пыли, ионов в воздухе, производится корректировка работы прибора путём повышения или понижения напряжения в высоковольтной части (7) и регулировкой скорости вращения вентилятора (10). Блок питания (6) предоставляет питание как микроконтроллеру (5), так и всему устройству (1) в целом. Если датчики (2, 3, 8) непосредственно участвуют в управлении работой прибора, то датчик температуры (4) служит как информационный для пользователя. Если концентрация озона превысит допустимое значение, произойдёт отключение высоковольтного блока (7) и компрессора-ионизатора (10). Поддержание необходимой концентрации аэроионов осуществляется с помощью многоярусного ионизатора [1] и датчика ионов (3).

Напряжение на МК (5) подаётся через понижающий трансформатор с двухполупериодным выпрямителем и стабилизатором напряжения 78L05. Блок питания высоковольтной части построен по принципу двухтактного симметричного преобразователя постоянного напряжения в переменное с индуктивной обратной связью. В качестве датчика озона (2) используется устройство фирмы «Hanwei electronics».

Оптический датчик пыли работает следующим образом. С помощью микроконтроллера (5) задаётся частота мигания светодиода около 100 Гц или более. Между светодиодом и фотоприёмником датчика (8) имеется перегородка, которая препятствует прямому попаданию света на фотодиод и защищает его от ложного срабатывания. Отражённый от проходящей пыли свет попадает на фотодиод и возбуждает в нём фототок, который, проходя через усилитель датчика, попадает в АЦП, а затем в микроконтроллер (5), где происходит дальнейшая обработка сигнала и вывод результата на дисплей.

Работа датчика ионов (3) основана на аспирационном конденсаторе, к обкладкам которого приложена некоторая разность потенциалов и через которые продувается исследуемый воздух. Ионы, перемещаясь вместе с потоком, одновременно смещаются в электрическом поле и осаждаются на соответствующей обкладке конденсатора, что ведет к изменению напряжения между обкладками. При этом происходит разрядка аспирационного конденсатора через сопротивление нагрузки, и соответствующий сигнал подается на МК (5). В случае наличия заряженных частиц в воздухе разрядка происходит быстрее, чем при их отсутствии. Чем большее число ионов в исследуемом воздухе, тем круче будет кривая разрядки конденсатора. Сравнение кривых разрядки даёт возможность определить ток ионов, а затем и их концентрацию.

Таким образом, благодаря автоматизации процессов управления повышается удобство использования данного устройства и улучшается качество воздуха, так как с помощью датчиков поддерживается оптимальная концентрация озона и аэроионов.

Внедрение такого комплекса в учебных заведениях, детских садах, школах, на предприятиях, а также в других общественных местах и домашнем быту позволит улучшить здоровье и микроклимат в помещениях [1].

Выполнено в рамках проекта ГПО КУДР-0902 – «Электронный пылеуловитель и ионизатор воздуха».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ермолаев А.В., Мотрунчик К.В.* «Электронный пылеуловитель и ионизатор воздуха» // Научная сессия ТУСУР-2010: Матер. докл. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных, Томск, 4–7 мая 2010 г. Томск: В-Спектр, 2010. Ч. 1. С. 199.

2. *Яценков В.С.* Микроконтроллеры Microchip: Практическое руководство. 2-е изд. испр. и доп. М.: Горячая линия-Телеком, 2008. 280 с.

ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ЦГК

И.С. Тен, Е.С. Худякова, студентки 4-го курса

Научный руководитель С.Г. Еханин, проф. каф. КУДР, д.ф.-м.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. КУДР, stalker@mail.tusur.ru

Происходящий в настоящее время прорыв в области создания новых материалов и высоких технологий во многом обязан экспериментальным и теоретическим исследованиям свойств и поведения дефектов. Одним из значимых явлений, в основе которого лежит генерация дефектов, является электролюминесценция (ЭЛ) диэлектрических слоев.

Впервые ЭЛ тонких слоев неактивированной монокристаллической каменной соли было обнаружена в 1966 г. [1]. В статье [2] рассмотрены основные результаты опытов по изучению ЭЛ тонких слоев ЦГК в сверхсильных электрических полях. Было определено, что излучение исходит из центров свечения, которые по своей природе являются дефектами основной кристаллической решетки.

В более поздних работах [3] было показано, что сильное электрическое поле вызывает в слое ЦГК генерацию линейных и точечных дефектов. Дефектообразование предвещает и обуславливает весь комплекс предпробивных процессов и явлений [3], в том числе и электролюминесценцию. То есть центры свечения в неактивированном кри-

сталле появляются вследствие дефектообразования, вызванного сильным электрическим полем (пондеромоторными силами). Однако при таком воздействии невозможно заранее предсказать количество дефектов, которые зарождаются при приложении к образцу электрического поля.

Таким образом, целью данной работы является изучение методик создания в ЦГК заданной концентрации точечных дефектов ($\sim 10^{19}$ 1/см³).

Известно, что точечные дефекты создаются при генерации и взаимодействии линейных дефектов (дислокаций), поэтому исследовались методики создания и контроля дислокаций в кристалле.

Вначале нами были подобраны оптимальные условия для выявления дислокаций на поверхности макрокристалла путем химического травления (температура, время травления, состав травителя и др.), а также выбран метод анизотропного растворения для получения слоя ЦГК до 100 мкм. Были проанализированы картины химического травления поверхности макрокристалла и тонкого слоя [4]. Как оказалось, в процессе приготовления тонкого слоя ЦГК методом анизотропного растворения дополнительного дефектообразования не происходит.

В следующих экспериментах, чтобы искусственно сгенерировать дефекты, к образцу прикладывалось механическое напряжение различного вида: вдавливание индентора в исследуемый материал и засверливание поверхности образца. При таком воздействии на кристалл на поверхности образца возникают области дислокационного пересыщения.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что наиболее отчетливой разницей в концентрации дефектов до и после воздействия обладают засверленные образцы. На рис. 1 изображен вид дислокационной структуры поверхности макрокристалла до и после его засверливания.

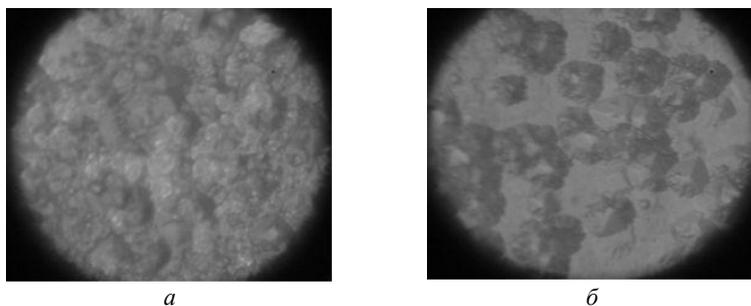


Рис. 1. Микрофотография поверхности макрокристалла вблизи границы сверления (а) и вдали от нее (б)

Как видно из рис. 1, после сверления концентрация линейных дефектов возросла по сравнению с исходной на несколько порядков.

С появлением разнообразных наноматериалов, таких как нанопорошки, стало возможным создать структуру с предельной концентрацией дефектов. Появилась возможность создать образец из нанопорошка ЩГК, например NaCl, путем прессования и спекания.

На рис. 2 приведена модель структуры нанопорошкового материала. Наличие нанозеренной структуры с протяженными межфазными границами приведет к возникновению предельных концентраций линейных и точечных дефектов. Как указано в [5], граница зерен представляет собой внутреннюю границу раздела, состоящую из разупорядоченных двумерных и одномерных дефектов, толщина которой не превышает несколько межатомных расстояний.

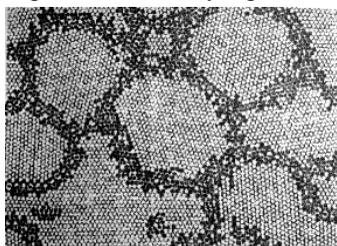


Рис. 2. Смоделированная с использованием потенциала Морзе атомной структуры нанокристаллического материала (черным обозначены атомы в зернограницных областях) [5]

Электрические характеристики такой структуры будут определяться процессами на границе частиц или зерен, из которых она состоит.

В таком материале следует ожидать появление новых электронно-оптических процессов. В частности, такой диэлектрический материал может стать основой для разработки новых альтернативных источников света.

Выполнено в рамках проекта КУДР-0903 – «Исследование наноструктурных объектов».

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев Г.А., Пикалова И.С. // Изв. вузов СССР. Физика. 1966. № 6. С. 158.
2. Несмелов Н.С. Электролюминесценция каменной соли // Изв. вузов СССР. Физика. 1970. № 5.
3. Еханин С.Г. Дефектообразование, ударная ионизация и электрическая прочность микронных слоев щелочно-галоидных кристаллов: Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Томск, 2002.
4. Тен И.С., Худякова Е.С. Исследование наноструктурных объектов, возникающих в ЩГК в сверхсильном электрическом поле. Томск: ТУСУР, 2010.
5. Хасанов О.Л., Двилис Э.С., Бикбаева З.Г. Методы компактирования и консолидации наноструктурных материалов и изделий. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. 196 с.

ПОЛИХРОМНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ ДЛЯ АППАРАТОВ ВИЗУАЛЬНОЙ СВЕТОТЕРАПИИ

С.К. Тукаль, М.В. Аланаева, студенты 4-го курса

*Научный руководитель М.Н. Романовский, к.т.н., доцент каф. КУДР
г. Томск, ТУСУР, РКФ, grey-90@mail.ru*

Жизнь современного человека характеризуется высокой напряженностью и динамизмом. Увеличивается число заболеваний, устойчивых к медикаментозной терапии. Всё это вынуждает искать альтернативные методы лечения, – безвредные и более эффективные, способные повысить иммунитет и защитные силы организма, а также повысить стрессоустойчивость человека.

Экспериментально доказано, что цвет влияет на психоэмоциональное состояние человека [1, 2]. Примером аппаратов визуальной светотерапии могут служить аппараты психоэмоциональной коррекции (АПЭК), работа которых основана на формировании импульсов, промодулированных частотой альфа-ритма, и подаче их поочередно на излучатели, воздействующие на глаза пациента [3].

В ранних модификациях аппаратов в качестве излучателей использовались светодиоды различного цвета [4, 5]. Такие излучатели обеспечивают необходимое быстродействие и имеют спектральные характеристики, близкие к монохромным.

Для получения одного и того же цвета могут быть использованы разные спектральные характеристики (например, для получения зеленого цвета можно использовать спектральную характеристику собственно зеленого цвета либо составленную из спектральных характеристик желтого и синего цветов). Поэтому остается неясным, что именно влияет на психоэмоциональное состояние человека (спектральные характеристики или ощущение цвета, сформированное в глазу человека) [6].

Целью настоящей работы является поиск возможности реализации аппаратов визуальной светотерапии на полихромных дисплеях. Важность работы заключается в определении причины влияния цвета на психоэмоциональное состояние человека.

В колориметрии существует два способа формирования цвета: субтрактивный и аддитивный. Субтрактивным (от глагола *subtract* – вычитать) называется способ, в котором для получения цвета световой поток белого света частично поглощается в результате взаимодействия с красителем или фильтром [7]. Аддитивным (от глагола *add* – складывать) называется способ, в котором для получения цвета излучения трех основных цветов смешиваются (складываются) [7].

Формирование цвета субтрактивным методом на практике возможно реализовать с помощью ЖК-фильтров.

Сложность в использовании ЖК-дисплеев в качестве излучателей для аппаратов АПЭК в их низком, относительно светодиодов, быстродействии. Современные ЖК-дисплеи обеспечивают время срабатывания от 2 до 10 мс, что является недостаточным, т.к. необходимая длительность импульса внутриимпульсной модуляции: $(1 \pm 0,05)$ мс. Причем указанное время отклика для ЖК-дисплеев (2–10 мс) обеспечивают пока только дисплеи, рассчитанные на высокое напряжение питания.

В связи с этим нами было предложено раздельное управление ЖК-фильтром и подсветкой, входящими в состав ЖК-дисплея. Так как подсветка современных ЖК осуществляется на основе светодиодных матриц, то она обеспечивает необходимое быстродействие. Поэтому целесообразно осуществлять подачу промодулированных импульсов на светодиодную подсветку, а необходимый цвет формировать с помощью ЖК-фильтра, который не будет изменять своего состояния в ходе работы аппарата.

Формирование цвета аддитивным методом можно реализовать различными способами. Например, ЖК-дисплеи с трехцветной подсветкой при отсутствии напряжения на фильтрах ЖК-молекулы будут полностью пропускать свет. Однако более удобно использовать сравнительно новую технологию реализации излучателей – OLED (Organic Light-Emmitting Diode – органический светодиод). Пример OLED-дисплея приведен на рис. 1 [8].



Рис. 1. Graphic OLED
Color Display LCD-09678

Основными преимуществами OLED-дисплеев являются: меньшие габариты и вес; отсутствие необходимости в подсветке; изображение видно без потери качества с любого угла; мгновенный отклик (на порядок выше, чем у ЖК); более качественная цветопередача (высокий контраст); возможность создания гибких экранов; большой диапазон рабочих температур (от -40 до $+70$ °C); возможность регулирования яркости в очень широком динамическом диапазоне; меньшее энергопотребление [9].

Основными недостатками OLED-дисплеев являются: маленький срок службы люминофоров некоторых цветов; дороговизна и неотре-

ботанность технологии по созданию больших матриц (в устройствах АПЭК нет необходимости в больших матрицах) [9].

Таким образом, в качестве полихромных излучателей для аппаратов визуальной светотерапии можно использовать и ЖК-, и OLED-дисплеи.

Выполнено в рамках проекта ГПО КУДР-1002 – «Аппарат для стимуляции светом».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бейбит Э.Д.* Принципы света и цвета. Исцеляющая сила цвета. Киев: София, 1996. 320 с.

2. *Палеев Н.Р., Карандашов В.И., Петухов Е.Б., Диасамидзе Ю.С.* Фототерапия и ее место в современной медицине // Вестник РАМН. 2004. № 7. С. 15–19.

3. Пат. 52717 России. Аппарат психоэмоциональной коррекции / Зверев В.А., Наливайко Б.А., Пономарев А.А., Трифионов В.В., Яук Э.Ф. 2005.

4. *Бомбизов А.А., Бугров Е.Ф.* Автономный аппарат психоэмоциональной коррекции // Научная сессия ТУСУР-2007. №1. С. 129–131.

5. *Бовадулин П.В., Романенко Д.В., Татарников В.Н.* Аппарат резонансной светотерапии // Групповое проектное обучение. Т. 2. Томск: ТУСУР, 2007. С. 141–145.

6. Master-khabarovsk.blogspot.com / Портфолио мастера производственного обучения. Теория цвета – наука колориметрии и ее три кита.

7. *Цвет, управление цветом, цветовые расчеты и измерения* / nordicdreams.net.ru

8. SparkFun Elektroniks. Graphic OLED Color Display 128×128 / sparkfun.com

9. *Википедия.* Свободная энциклопедия. Органический светодиод / ru.wikipedia.org/wiki/OLED

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Председатель – *Лоцилов А.Г.*, с.н.с., СКБ «Смена», к.т.н.;
зам. председателя – *Бомбизов А.А.*, м.н.с. СКБ «Смена»

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ НЕЛИНЕЙНЫЙ РЕФЛЕКТОМЕТР

С.А. Артищев, студент каф. РЭТЭМ, техник СКБ «Смена»

Научный руководитель Э.В. Семенов, доцент каф. РЗИ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, 824tusur@mail.ru

В ходе работ по проекту «Нелинейный импульсный анализатор цепей» в рамках группового проектного обучения были проведены экспериментальные исследования по обнаружению в линиях передачи неоднородностей, в том числе проявляющих нелинейные свойства.

Ранее было показано [1], что контакт металл–окисел–металл (МОМ-контакт) проявляет нелинейные свойства. Это позволило включить его в число объектов, представляющих интерес по обнаружению. Также были исследованы диод, закладное устройство, содержащее активный элемент – транзистор, в линиях различной длины (максимальное расстояние исследования 400 м). Эксперименты проводились с использованием векторного импульсного измерителя характеристик цепей Р4-И-01 [2]. Ниже приведена часть полученных экспериментальных данных (рис. 1).

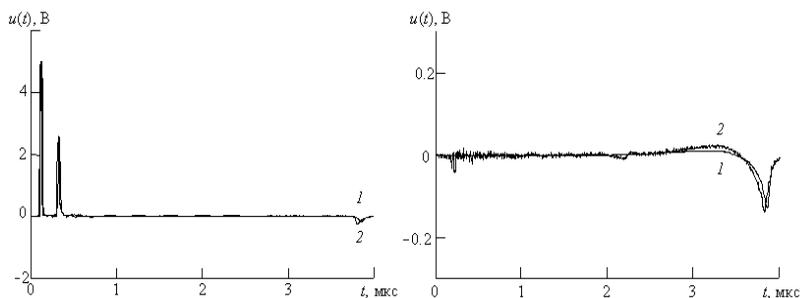


Рис. 1. Отклик (слева) и характеристика нелинейности (справа) диода Шоттки ВАТ46, подключенного параллельно в линию из кабеля ТПП-0.5 на расстоянии 400 м от точки подключения нелинейного рефлектометра (кривая 1 – модель, кривая 2 – эксперимент). Амплитуда и длительность тестового сигнала 5 В и 30 нс соответственно

Для других объектов зависимости выглядят аналогично, отличие лишь в уровне амплитуды отклика. Данные измерения проводились с помощью универсального измерительного прибора, позволяющего проводить широкий спектр измерений частотных и временных характеристик. Однако для решения задач рефлектометрии целесообразно иметь специализированный нелинейный рефлектометр. Поэтому приоритетным направлением работы является упрощение измерительной установки и достижение ее минимальной стоимости. Предполагалось, что разрабатываемый рефлектометр будет выполнять необходимый минимум задач, не уступая при этом по характеристикам Р4-И-01. В связи с этим следовало провести наработки по отдельным функциональным узлам, входящим в нелинейный рефлектометр. В первую очередь, на этапе макетирования был разработан генератор тестового сигнала.

При разработке задающего генератора импульсов специальной формы [3] были решены следующие задачи: выбор схемотехнического решения генератора; разработка схемы электрической принципиальной; моделирование работы генератора; выбор элементной базы; разработка печатной платы.

В ходе проектирования генератора было рассмотрено несколько вариантов схемотехнического решения с использованием различной элементной базы. Окончательный вариант реализации генератора представлен структурной схемой на рис. 2.

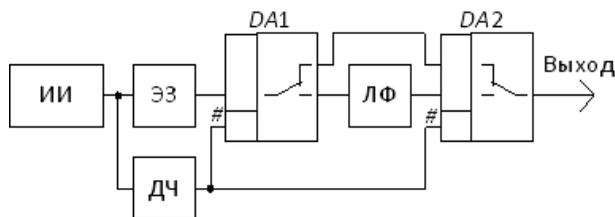


Рис. 2. Структурная схема генератора: ИИ – источник импульсов, ЭЗ – элемент задержки, ДЧ – делитель частоты, ЛФ – линейный фильтр, DA1, DA2 – ключи подключения фильтра

Источник импульсов (ИИ) формирует импульсы в два канала. Первый сигнал, проходя через делитель частоты надвое (ДЧ), управляет ключами (DA). Другой сигнал поступает на элемент задержки (ЭЗ) и запаздывает относительно управляющего сигнала, при этом успевают завершиться переходные процессы при коммутации. Это позволяет избежать дополнительных искажений формы сигнала. Далее сигнал, в зависимости от положения ключей, проходит через линейный фильтр

(ЛФ), приобретая требуемые параметры и форму, либо проходит напрямую. Таким чередованием импульсов прямоугольной формы и специальной формы ключи позволяют получать требуемый сигнал. Согласно структурной схеме была разработана схема электрическая принципиальная генератора и проведено виртуальное моделирование его работы. Результат моделирования представлен на рис. 3.

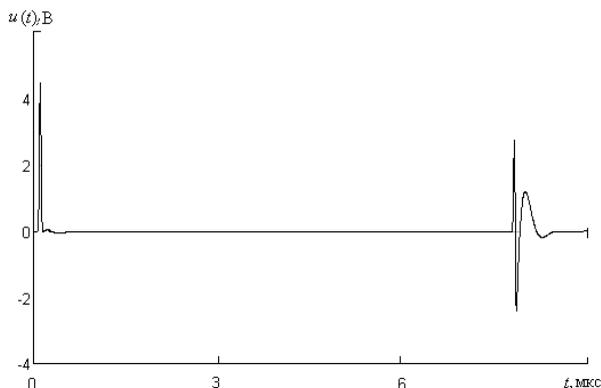


Рис. 3. Сигнал специальной формы для нелинейной рефлектометрии: длительность прямоугольного импульса $\tau = 30$ нс, период следования импульсов $T = 256 \tau$

По схеме электрической принципиальной была разработана печатная плата генератора. Дальнейшей задачей является разработка приемного устройства для регистрации полученных откликов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Артищев С.А.* Моделирование и экспериментальное исследование нелинейного контакта металл–окисел–металл // Матер. докл. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2010», Томск, 4–7 мая 2010 г. Томск: В-Спектр, 2010. Ч. 1. С. 229–231.
2. *Векторный импульсный измеритель цепей Р4-И-01.* Руководство по эксплуатации. Томск, 2006, 65 с. Режим доступа: <http://www.impulsem.ru/ru/r4-i-01.html>.
3. *Семенов Э.В.* Исследование нелинейности преобразования детерминированных сверхширокополосных сигналов путем линейного комбинирования откликов объекта на линейно зависимые тестовые сигналы // Известия Том. политех. ун-та. 2004. Т. 307, №4. С. 18–21.

УПРАВЛЯЕМЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ

П.В. Бомбизов, студент

*Научный руководитель А. А. Бомбизов, м.н.с. СКБ «Смена»
г. Томск, ТУСУР, каф. КУДР, fanatic68@rambler.ru*

Разработка источника питания (ИП) для светодиодных светильников, которые могут устанавливаться в коридорах, холлах, метро, подземных переходах, в промышленных помещениях и на других объектах, является актуальной в наше время. Специфика данной разработки подразумевает индивидуальное изменение яркости и цветовых оттенков свечения. Эта отличительная особенность позволяет производить индивидуальную настройку рабочих мест или их группы в производственных помещениях, настраивать подсветку в выставочных залах и т.п.

На рис. 1 изображена структурная схема источника питания для светодиодных светильников.

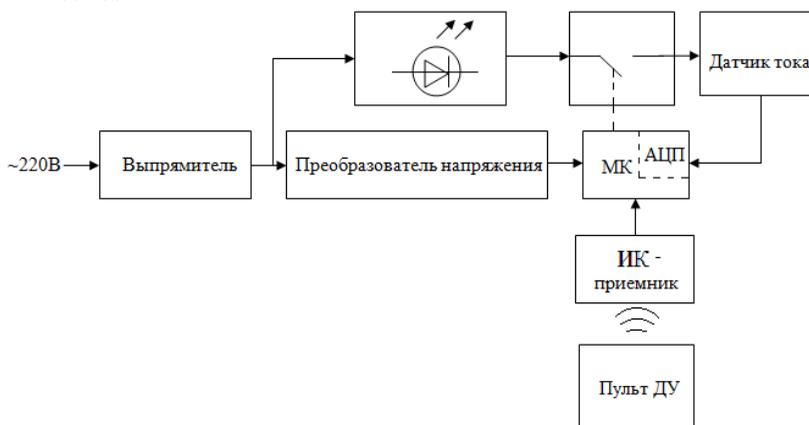


Рис. 1. Структурная схема источника питания для светодиодных светильников

Изменение параметров светодиодного светильника может производиться двумя способами: проводным или беспроводным. Для наиболее удобного использования целесообразно производить беспроводное управление параметрами. В связи с этим выбрано управление при помощи инфракрасного (ИК) приёмника и пульта дистанционного управления (ПДУ), подобного телевизионному.

В разрабатываемом источнике питания будет использован широко распространенный импульсный подход стабилизации тока. Для каждой цветовой составляющей светодиодной линейки будет использована

на своя стабилизация, выполненная в виде отдельного канала. Но в связи с внедрением беспроводного управления целесообразно заменить стандартный контроллер тока (например, HV9961, HV9910B, TPS92210) на микроконтроллер (МК) со встроенным аналого-цифровым преобразователем, в котором могут быть реализованы те же функции при помощи реализации соответствующего программного обеспечения и дополнены специальными расширениями, позволяющими работать с ИК-приёмником. С помощью пульта ДУ можно будет изменять цвет светильника, его яркость, включать/выключать прибор. Все эти функции невозможно осуществить без включения в схему МК.

Работает ИП от сети 220 В. Выпрямитель служит для получения постоянного напряжения. Далее происходит разветвление на преобразователь для обеспечения стабильного питания низковольтного микроконтроллера, ИК-приёмника и непосредственно на светодиодную линейку, заданный ток через которую обеспечивается силовыми ключами.

Датчик тока представляет собой резистор с низким сопротивлением, падение напряжение на котором фиксируется микроконтроллером и служит для определения силы тока, протекающего по ветви светодиода–ключ–датчик тока.

ИК-приёмник преобразует электромагнитные частотно-модулированные колебания в цифровой код и передаёт в МК посредством I-Wire интерфейса.

На рис. 2 приведена схема электрическая принципиальная управляемого источника питания для светодиодных светильников.

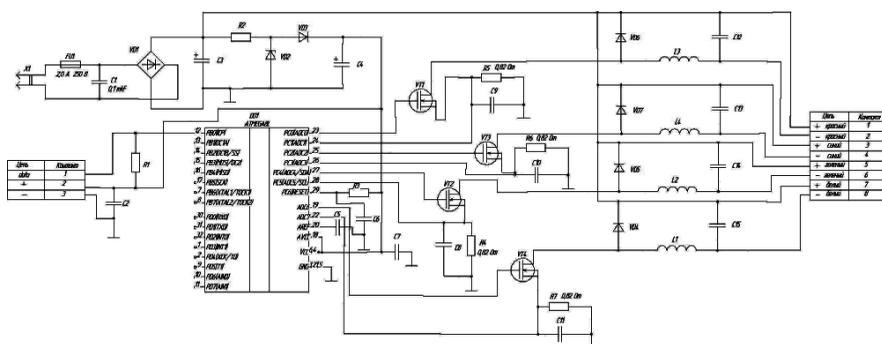


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная источника питания для светодиодных светильников

Прибор работает от сети 220 В 50 Гц. Диодный мост VD1 и конденсатор C2 преобразует переменное напряжение из сети в постоянное, которое требуется для питания светодиодов. При помощи делите-

ля напряжения на резисторе R2 и стабилитроне VD2 получаем необходимое напряжение питания для микроконтроллера Atmega8L.

В качестве силового ключа используется n-канальный полевой транзистор.

На момент написания статьи спроектирована схема электрическая принципиальная источника питания для светодиодных светильников, заменен стандартный стабилизатор тока HV9910B на микроконтроллер ATmega8L, что дало возможность использовать многоканальную стабилизацию для 4-цветных светодиодов, подключить такие периферийные устройства, как ИК-датчик для удаленного использования прибора.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Каневский Г.* Новости электроники: информационно-технический журнал // Гран При. Рыбинск, 2010. № 10. С. 32.
2. *Рекламно-производительная фирма «Рубикон»* [Электронный ресурс] / (с) ООО «Рубикон», г. Барнаул, 2011 г. Режим доступа: <http://led22.ru>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус.
3. *Поиск электронных компонентов* [Электронный ресурс] / «ЭтЛайт», 2011 г. Режим доступа: <http://efind.ru>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус.
4. *Чип и дип.* Мастер электроники. Сеть профессиональных магазинов [Электронный ресурс]. 2011. Режим доступа: <http://chipdip.ru>, свободный. Загл. с экрана. Яз. Рус.
5. *Романычева Э.Т., Куликов А.С. и др.* Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры: Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1989. 448 с.

ТЕРМОСТАБИЛИЗАТОР ВНУТРЕННЕЙ КАЛИБРОВКИ РАДИОМЕТРА

А.В. Фролов, студент 2-го курса

*Научный руководитель А.В. Убайчин, аспирант каф. ТОР,
м.н.с. СКБ «Смена»
г. Томск, ТУСУР, каф. ТОР, alex-frlv@mail.ru*

В настоящее время операционные усилители (ОУ) получили широкое применение как в виде отдельных чипов, так и в виде функциональных блоков в составе более сложных интегральных схем. Такая популярность обусловлена тем, что ОУ является универсальным блоком с характеристиками, близкими к идеальным, на основе которого можно построить множество различных электронных узлов [1].

Термистор – полупроводниковый резистор, электрическое сопротивление которого зависит от температуры. Для термистора характер-

ны большой температурный коэффициент сопротивления, простота устройства, способность работать в различных климатических условиях при значительных механических нагрузках, стабильность характеристик во времени [2].

Основными параметрами терморезистора являются: номинальное сопротивление, температурный коэффициент сопротивления, интервал рабочих температур, максимально допустимая мощность рассеяния.

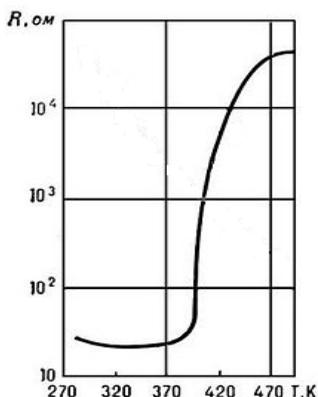


Рис. 1. Зависимость сопротивления термистора от температуры

Актуальной задачей в радиометрических системах является этап внутренней калибровки [3]. Рассмотрим данный этап. Основным звеном внутреннего калибратора является согласованный с волноведущим трактом резистор с сопротивлением 50 Ом. Условие полного согласования в заданной полосе частот является необходимым и достаточным для реализации модели абсолютно черного тела.

Физическая температура абсолютно черного тела равна его радиояркостной температуре, в связи с этим возникает проблема *термостабилизации* согласованного резистора [3]. Была поставлена задача разработки термостабилизатора для системы внутренней калибровки – схемы непрерывного слежения за мощностью, подаваемой на согласованный резистор, для его разогрева.

Рассмотрим структурную схему аналогового термостабилизатора (рис. 2).

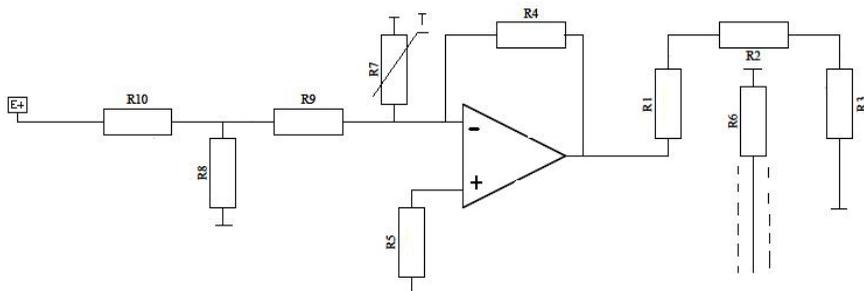


Рис. 2. Структурная схема термостабилизатора

Инвертирующим входом операционного усилителя управляет делитель с резисторами R10, R9, R8. Терморезистор R6 снимает температуру с нагреваемого согласующего резистора. В зависимости от номинала резистора R4 получаем на выходе необходимое напряжение для поддержания постоянной температуры.

Данная структурная схема обладает следующими преимуществами:

1. Система реализована по принципу непрерывного слежения, что обеспечивает минимальные флуктуации заданной температуры.

2. Схема реализована достаточно просто.

3. По сравнению с цифровой системой слежения и цифровым термостатом не происходит скачкообразного изменения подаваемой мощности на резистор, что повышает флуктационную стабильность.

4. Аналоговая система регулирования отличается высокой долговременной стабильностью.

Одним из минусов является необходимость калибровки данной схемы стабилизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кар Дж.* Проектирование и изготовление электронной аппаратуры: Пер. с англ. 2-е изд., стереотип. М.: Мир, 1986. 378 с.

2. *Линеверг А.* Измерение температур в технике: Справочник: Пер. с нем. 1980. 544 с.

3. *Филатов А.В., Убайчин А.В., Жуков Н.О.* Двухканальный микроволновый радиометр повышенной точности // Радиотехника. 2011. №1. С. 47–51.

КВАДРАТИЧНЫЙ ДЕТЕКТОР ДЛЯ БЛОКА НИЗКОЧАСТОТНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В РАДИОМЕТРЕ С ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПОДШУМЛИВАНИЕМ

И.В. Ильченко, студент 2-го курса

*Научный руководитель А.В. Убайчин, аспирант каф. ТОР,
м.н.с. СКБ «Смена»*

г. Томск, ТУСУР, каф. ТОР, knaz.91@mail.ru

Детектирование – преобразование электрических колебаний, в результате которого получают колебания более низкой частоты или постоянный ток. Наиболее распространённый случай детектирования – демодуляция, состоит в выделении низкочастотного модулирующего сигнала из модулированных высокочастотных колебаний. Детектирование применяется в радиоприёмных устройствах для выделения колебаний звуковой частоты, в телевидении – сигналов изображения и т.д. [1].

В нулевых радиометрах с комбинированной импульсной модуляцией квадратичный детектор служит для установления линейной связи входного напряжения с мощностью, падающей на вход детектора [2]. Основные требования при проектировании детектора – высокая чувствительность, хорошее согласование с волноведущим трактом в широкой полосе частот. Основным элементом детектора является диод с барьером Шоттки. Для проектирования был выбран малощумящий диод HSMS 2680. При квадратичном детектировании высокочастотных импульсов с прямоугольной огибающей форма выходных импульсов очень мало отличается от огибающей ВЧ напряжения, действующего на входе.

Согласно данным рис. 1 делаем вывод, что при токе смещения рабочей точки около 5 мкА наблюдается наибольшая чувствительность диода [3].

Исходя из этого критерия, выбираем резистивные элементы, которые задают смещение рабочей точки диода.

Ключевой целью, стала разработка высокочувствительного детектора. Так как сигнал необходимо многократно усилить, было принято решение использовать два каскада усиления.

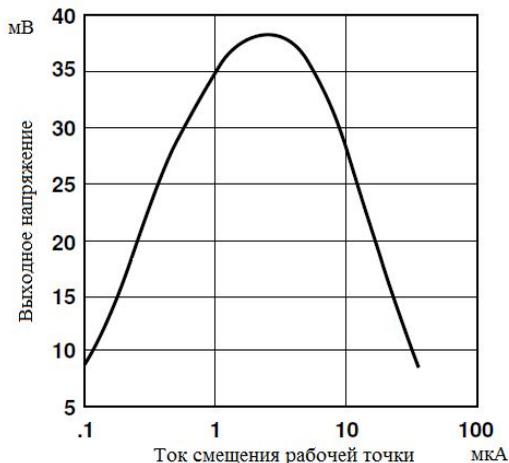


Рис. 1. Выходные характеристики диода HSMS 2680

Усилительные каскады реализуются операционными усилителями AD 8674, коэффициенты усиления которых составляют 10 и 100 раз соответственно. Коэффициент усиления вычисляется по формуле

$$K_U = \frac{R_{os}}{R_{vh}},$$

где R_{os} – резистор обратной связи, R_{vh} – входное сопротивление плеч операционного усилителя.

Питание усилителей требуется стабилизировать, что и достигается включением в цепь двух стабилизаторов MOTOROLA 79L05. В цепь

питания были введены корректирующие емкости. На выходе первого каскада установлена разделительная емкость, служащая для отсечения паразитных токов. Схема устройства изображена на рис. 2.

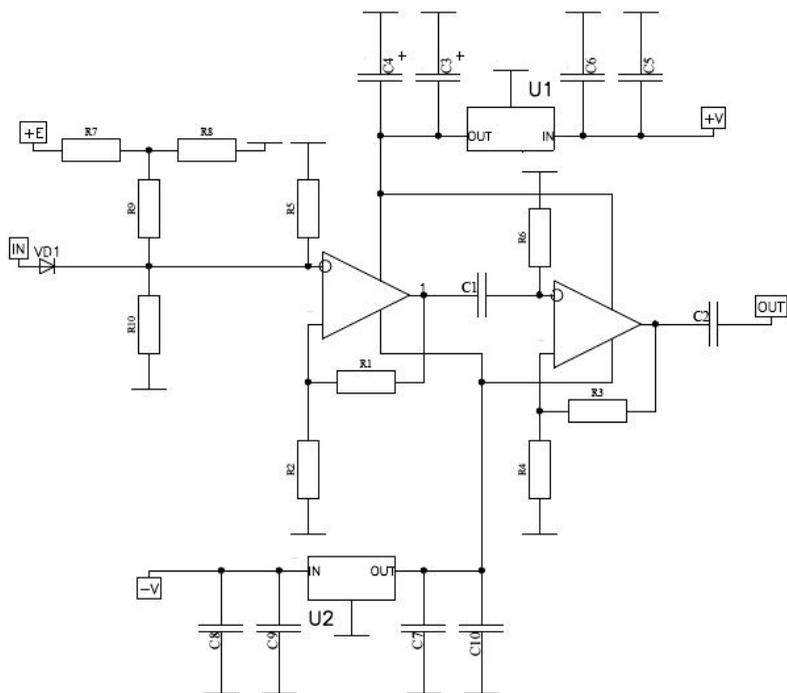


Рис. 2. Принципиальная схема квадратичного детектора

Заклучение

В результате проделанной работы практически реализован квадратичный детектор. Устройство выполнено в виде отдельного модуля, что является удобным технологическим решением на этапе разработки и отладки макета радиометра. В настоящее время ведется серия экспериментов с целью определения чувствительности и диапазона рабочих частот устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стрелков С.П. Введение в теорию колебаний. 2-е изд. М., 1964. 254 с.
2. Филатов А.В. Нулевой микроволновый радиометр с дополнительной широтно-импульсной модуляцией опорного сигнала после детектора // Радиотехника и электроника. 2005. Т. 50, №4. С. 47–51.
3. Технические характеристики диода HSMS 2680. Режим доступа: <http://www.jameco.com/HSMS26XX.pdf>

ЭЛЕКТРОННЫЙ КОММУТАТОР ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

*С.П. Караульных, студент 4-го курса, техник СКБ «Смена»
Научный руководитель А.Г. Лоцилов, к.т.н., с.н.с. СКБ «Смена»
г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ, KS0289@sibmail.com*

В ходе работ по созданию автоматизированной системы контроля информационных магистралей космических аппаратов [1] была поставлена задача – разработать коммутатор для автоматизированного измерения сопротивления изоляции компонентов информационной магистрали (кабелей, разветвителей, согласующих резисторов). На рис. 1 приведена схема разветвителя с трансформаторной связью, иллюстрирующая наиболее полный перечень режимов подключения при измерении сопротивления изоляции.

Конструктивно коммутатор необходимо выполнить в виде отдельного блока. Коммутатор должен обеспечивать автоматизированное проведение тестов сопротивления изоляции и электрической прочности в соответствии с ГОСТ 52072–2003 (разд.: 5.1.2, 5.1.3, 5.1.3.1, 5.1.3.2).

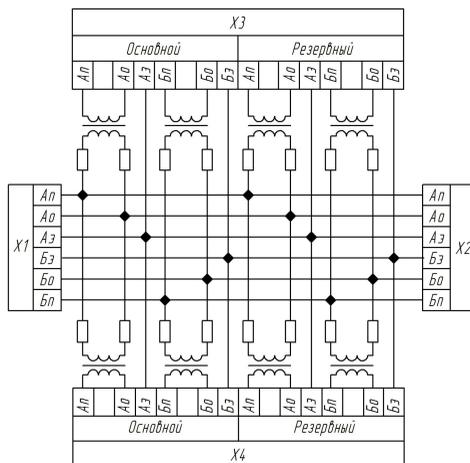


Рис. 1. Схема разветвителя с трансформаторной связью

Контроль электрической прочности проводится с приложением напряжения 600 В среднеквадратичного значения переменного тока с частотой 50/60 Гц в течение 1 мин между каждым сигнальным проводником шины, шлейфа и экранирующим корпусом. Критерием тестирования является отсутствие электрического пробоя изоляции.

Измерение сопротивления изоляции осуществляется между каждым сигнальным проводником входа/выхода шины, шлейфа и экранирующим корпусом конструкции разветвителя, а также между сигнальными проводниками входа/выхода шины и шлейфа. Значение измеренных сопротивлений должно быть более 1 ГОм. Тест проводят с приложением напряжения 250 В постоянного тока.

В ходе работ по первому этапу требовалось разработать принципиальную схему коммутатора, а также определить элементную базу для его изготовления. В результате обзора выбор остановился на электромеханических переключателях фирмы MEDER и Pickering, характеристики переключателей приведены в таблице [3]. Микроконтроллер был выбран фирмы Atmel (AT90USB82), мультиплексоры фирмы NXP (74HTC4051).

Характеристики переключателей

Характеристики	Pickering	MEDER
Коммутируемое напряжение	3 кВ	1 кВ
Коммутируемый ток	1 А	1 А
Управляющее напряжение	3, 5, 12, 24 В	5, 12 В
Сопrotивление контактов в режиме включения	150 мОм	150 мОм
Пробивное напряжение	6 кВ	4 кВ
Габаритные размеры	(24×6×8) мм	(24×6×8) мм
Максимальное число срабатываний	Не указано	500 млн.

На рис. 2 представлена схема электрическая принципиальная коммутатора [2].

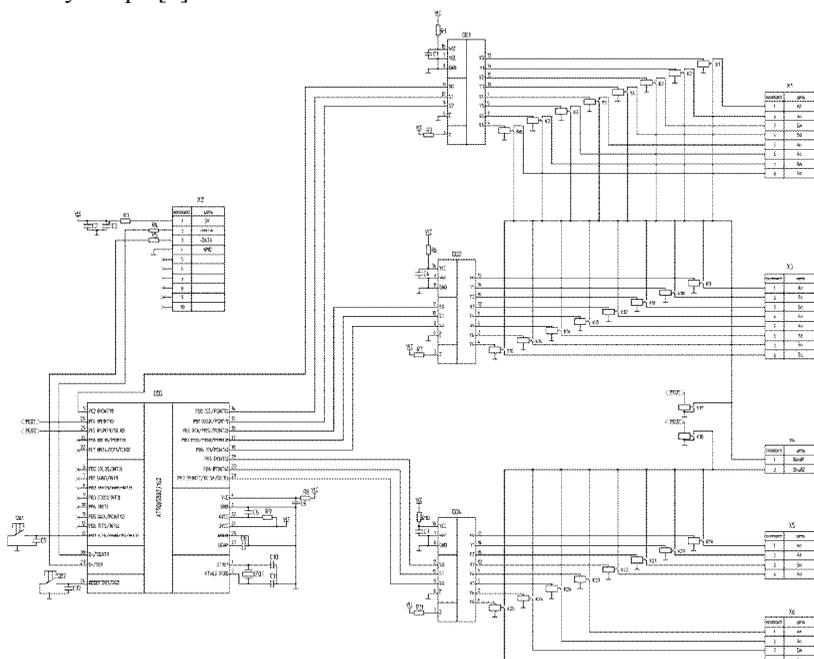


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная коммутатора

Схема работает следующим образом. Микроконтроллер устанавливает адрес на мультиплексорах, в соответствии с которым управляющий сигнал включает определенное реле. Схема включения реле построена таким образом, что позволяет осуществлять измерение сопротивления изоляции между каждым сигнальным проводником входа/выхода шины и соответствующими им сигнальными проводниками входа/выхода шлейфа. Также реализован режим измерения сопротивления изоляции между каждым сигнальным проводником входа/выхода шины и шлейфа и экранирующим корпусом конструкции разветвителя.

В настоящее время разработана схема электрическая принципиальная, выбраны элементы схемы. На следующем этапе планируется: изготовление печатной платы, электромонтаж, отладка и тестирование.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лоцилов А.Г.* Исследование компонентов информационных магистралей космических аппаратов с использованием метода нелинейной рефлектометрии в субнаносекундном диапазоне / А.Г. Лоцилов, Э.В. Семёнов // Матер. науч.-техн. конф. молодых специалистов ОАО «Информационные спутниковые системы». Железногорск, 2011. С. 125–127.

2. *Сабунин А.Е.* Altium Designer. Новые решения в проектировании электронных устройств. Солон-Пресс, 2009. 432 с.

3. *Производители* высококачественных реле [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.pickeringrelay.com/index.html>, свободный (дата обращения: 10.03.2011).

ПРОБЛЕМА НЕПРЕРЫВНОЙ ЗАПИСИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ РАБОТЕ АВТОНОМНОГО ПРИБОРА

К.А. Карнов, С.Ю. Слепцов, А.С. Конников, А.С. Мартынова, – студенты, техники СКБ «Смена»

*Научный руководитель А.А. Бомбизов, м.н.с. СКБ «Смена»
г. Томск, ТУСУР, каф. РЭТЭМ*

Проблема электромагнитного и акустического мониторинга сигналов в шахтных сооружениях состоит в необходимости обеспечивать длительную запись измеренных данных в цифровой форме в реальном масштабе времени. Это требует больших объёмов памяти и энергетических ресурсов, что ограничивает возможности натуральных измерений с помощью переносного комплекса. В рамках работ, проводимых коллективом СКБ «Смена», был разработан исследовательский прибор для регистрации электромагнитных и акустических сигналов в шахт-

ных сооружениях [1]. В существующей версии прибора для сохранения результатов измерения на flash-носитель используется контроллер памяти VNC1-L фирмы FTDI. В ходе эксплуатации прибора были выявлены недостатки данной микросхемы: во время мониторинга в неопределенные моменты времени могла возникнуть ошибка файловой системы на flash-носителе, в результате чего эксперимент по мониторингу за состоянием шахтных массивов прерывался. Анализ системы позволил сделать вывод о нестабильности работы блока сохранения данных при непрерывной долговременной работе (порядка 2–3 суток). Для устранения нестабильности работы данного блока был произведен обзор альтернативных вариантов построения. Главным образом, выбор встал между построением блока сохранения на основе SD-карт и flash-накопителей с интерфейсом USB.

Secure Digital Memory Card (SD) – формат карты flash-памяти, разработанный для использования в портативных устройствах. Карта размером 24×32×2,1 мм снабжена собственным контроллером и специальной областью, способной, в отличие от MMC, записывать информацию таким образом, чтобы «незаконное» чтение информации было невозможно. Для записи в защищенную область используется специальный протокол записи, недоступный для обычных пользователей.

В отличие от flash-накопителя связь с SD-картой осуществляется посредством интерфейса SPI, таким образом, микроконтроллер может напрямую, без промежуточных электрических преобразований и, соответственно, энергетических затрат, осуществлять обмен информацией с картой памяти. А так как интерфейс SPI реализован в большинстве известных микроконтроллерах, то применение SD-карт может найти широкое применение в различных проектах. В этом состоит главное преимущество использования SD-карт.

Основной задачей является разработка программного обеспечения, с помощью которого будет осуществляться запись информации на SD-карту посредством интерфейса SPI. В сети Интернет в свободном доступе выложен исходный код программы, в которой реализован для работы с файловой системой FAT [2, 3]. В FAT реализована поддержка многих кодировок имен файлов, таких как русский, центрально-европейский, корейский и т.д.

Производителем исходного программного обеспечения для работы с файловой системой приведены результаты испытаний скорости обмена информацией между МК Atmega64 и SD-картой. В результате при объеме карты 256 МБ скорость чтения/записи составила порядка 340 Кб в секунду, а при объеме 1 Гб скорость составила 870 Кб в секунду [2, 3]. Этих скоростей вполне достаточно для обеспечения потребностей долговременного мониторинга.

Нашей задачей является адаптация данного кода для использования в приборе для регистрации электромагнитного и акустического излучения горных пород в шахтных сооружениях. Для начала требуется дополнить код программы таким образом, чтобы осуществить связь с компьютером через COM-порт. Структурная схема представлена на рис. 1. Разработка кода осуществляется на отладочной плате STK500 на базе микроконтроллера Atmega8515. Для отладки алгоритма плата подключается к персональному компьютеру посредством COM-порта, где наиболее доступным программным обеспечением для работы с последовательным портом является HyperTerminal. Для проведения тестирования на отказ необходимо будет создать программное обеспечение для ПК и программную прослойку для МК, чтобы воспроизвести протокол взаимодействия между центральным процессором и контроллером памяти регистратора электромагнитных и акустических сигналов.

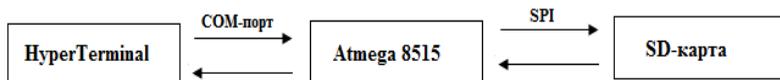


Рис. 1. Структурная схема

Альтернативой SD-карты является использование микросхемы USB хост-контроллера VNC2. При разработке этой компанией FTDI микросхемы были учтены основные недостатки контроллера предыдущего поколения VNC1-L (использующейся в настоящее время). Основными достоинствами новой микросхемы являются увеличенный объем входного буфера до 16 КБ, возможность модификации программного обеспечения [4]. Микросхемы VNC1-L и VNC2 совместимы по выводам, поэтому при замене старой микросхемы более новой потребуется только изменить номиналы некоторых элементов [5].

В настоящее время ведется разработка блока сохранения данных как на основе SD-карты, так и на основе микросхемы VNC2. Дальнейшие результаты макетирования позволят сравнить преимущества и недостатки использования каждого из подходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беспалько А.А., Федотов П.И., Хорсов Н.Н. и др. Полевой автономный регистратор для мониторинга и анализа электромагнитных и акустических сигналов горных пород в условиях шахт // Научная сессия ТУСУР-2008. Т. 1. С. 100–103.
2. FatFs Generic FAT File System Module [Электронный ресурс]. Электрон. дан. 2011. Режим доступа: http://elm-chan.org/fsw/ff/00/index_p.html, свободный. Загл. с экрана.

3. Petit FAT File System Module [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. 2011. Режим доступа: http://elm-chan.org/fsw/ff/00index_e.html, свободный. Загл. с экрана.

4. Future Technology Devices International Ltd. Technical Note TN_108. VINCULUM Chipset Feature Comparison. Document Reference No.: FT_000140. Version 1.1.

5. Future Technology Devices International Ltd. Application Note AN_118. Migrating Vinculum Designs From VNC1L to VNC2-48L1A. Document Reference No.: FT_000159. Version 1.2.

МАКЕТ ПЛАТЫ СОПРЯЖЕНИЯ НА БАЗЕ ИНТЕРФЕЙСА PXI

И.О. Хисамиев, студент 4-го курса РКФ, техник СКБ «Смена»

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

г. Томск, ТУСУР, as0512@sibmail.com

В рамках работ по созданию автоматизированной системы контроля информационных магистралей космических аппаратов [1] возникла задача разработки собственного измерительного блока для платформы PXI National Instruments [2].

PXI – признанный во всём мире стандарт для построения контрольно-измерительных систем. Более 15 лет PXI является открытым промышленным стандартом для создания автоматизированных систем. Использование шины PCI [3], а чуть позже PCI Express позволило обеспечить системам на базе PXI/PXIe высокую производительность, а также синхронизированную работу модульных приборов в шасси благодаря наличию дополнительных линий синхронизаций и запуска. В основе PXI-платформы лежат стандартные компьютерные технологии: шина PCI/PCI Express, процессор и периферийные устройства.

На первом этапе было принято решение разработать макет платы для подключения и управления внешним оборудованием на основе шины PCI.

Рассматривалось два подхода: первый подход основан на использовании программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), второй – подразумевает использование специализированных микросхем сопряжения (PCI Bridge), позволяющих преобразовать интерфейс PCI в другие интерфейсы передачи данных, такие как: RS 232/485/422, Ethernet, GPIB и другие. Было принято решение остановиться на втором подходе как более простом и доступном. После проведенного обзора элементной базы микросхем сопряжения выбор остановился на микросхеме фирмы PLX Technology OXuPCI952 [4].

Была разработана структурная схема платы сопряжения периферийного измерительного устройства с материнской платой компьютера по шине PCI. Разработанная схема представлена на рис. 1. Принцип действия состоит в следующем, данные по шине PCI поступают в микросхему (ОХuPCI952), где они преобразуются из 32-битной шины PCI в интерфейсы: UART и 8-битный параллельный либо в локальный. Микросхема ПЗУ (постоянное запоминающее устройство) предназначена для хранения данных, записанных при программировании микроконтроллера.

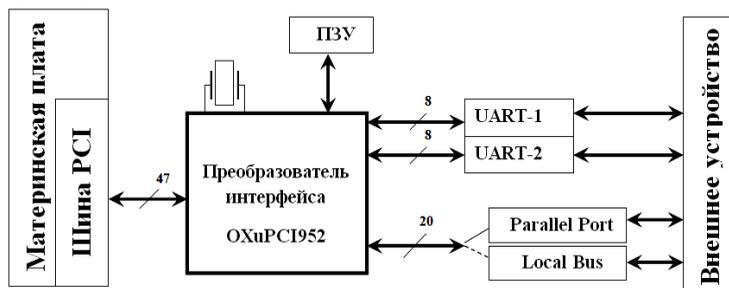


Рис. 1. Структурная схема платы

На основе структурной схемы были разработаны принципиальная схема и топология печатной платы в среде проектирования Altium Designer. На рис. 2 приведен внешний вид модели платы.

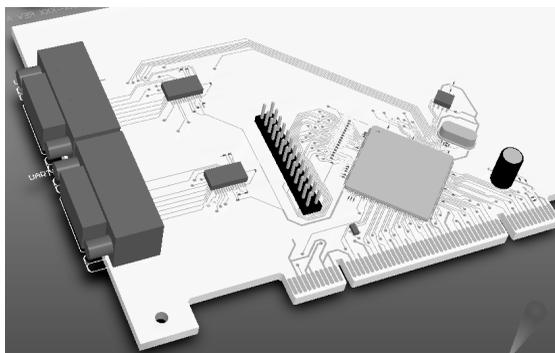


Рис. 2. Печатная плата 3d-модель

На данном этапе работ разработана структурная схема платы сопряжения, схема электрическая принципиальная, были произведены компоновка и трассировка платы. В настоящее время начат процесс изготовления платы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Убайчин А.В., Лоцилов А.Г. Выбор аппаратной платформы для построения автоматизированной системы контроля информационных магистралей космических аппаратов // Матер. науч.-техн. конф. молодых специалистов ОАО «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнева» «Разработка производство, испытания и эксплуатация космических аппаратов и систем», посвященной 50-летию полёта в космос Ю.А. Гагарина. Железногорск, 2011. С. 173–175.

2. PXI National Instrument [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ni.com/>, свободный. Загл. с экрана.

3. Петров С.В. Шины PCI, PCI-Express. Архитектура, дизайн и принципы функционирования. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 416 с.

4. PLX Technology, OXuPCI952 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.plxtech.com/products/uart/oxupci952>, свободный. Загл. с экрана.

РЕАЛИЗАЦИЯ ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА РАСЧЕТА ПЕРВИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛОСКОВЫХ ЛИНИЙ

П.С. Киселёв, Р.А. Альпимов, студенты 3-го курса

Научный руководитель Н.Д. Малютин, проф., д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, alpimov@sibmail.com

Конструкция расщепленных полосковых линий (РПЛ) показана на рис. 1 [1]. Она состоит из диэлектрической подложки 5, помещенной в экран. На подложку наносятся две полоски 1, 2 с небольшим зазором S между ними, имеющие ши-

риную $\frac{\omega_1 - S}{2}$. На подложку 5

наносится тонкий диэлектрический слой 4, на внешнюю поверхность которого симметрично полоскам 1 и 2 нанесена полоска 3, перекрывающая проводники РПЛ.

Основная особенность РПЛ состоит в том, что между полосками 1 и 2 обеспечивается сильная электромагнитная связь через полоску 3, находящуюся под «плавающим» потенциалом.

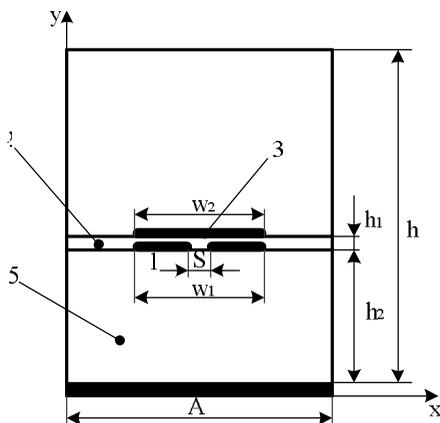


Рис. 1. Конструкция поперечного сечения связанной линии

При схеме включения РПЛ, показанной на рис. 2, полосы 1 и 2 в широком диапазоне частот имеют характеристики, близкие к характеристикам одиночной полосковой линии, но при этом полосы 1 и 2 гальванически развязаны.

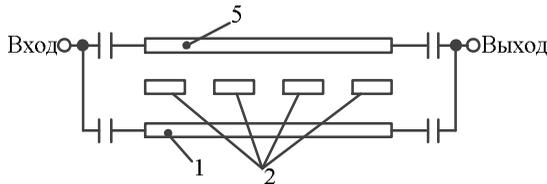


Рис. 2. Схема подключения полосковой линии

В данной работе приводятся результаты расчета первичных параметров РПЛ, которые необходимы для проведения анализа РПЛ при включении ее в схему того или иного устройства.

РПЛ представляют полосковую структуру с неоднородным диэлектрическим заполнением. Для поля структур данного класса в электрическом приближении справедливо уравнение Лапласа [2]:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} = 0.$$

Для решения уравнения Лапласа будем использовать метод сеток [3, 4]. Суть метода состоит в разбиении исследуемой области на большое число малых ячеек. Каждая точка пересечения двух линий, являющихся сторонами ячейки, образует узел. Значения потенциала в узлах и есть искомые величины.

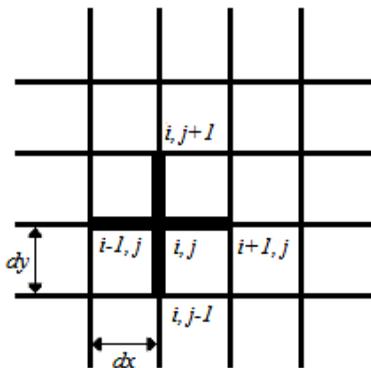


Рис. 3. Узлы сетки

В нашем случае сетка является двумерной с равномерным шагом (рис. 3). Двигаясь по узлам сетки, будем искать значение потенциала в зависимости от приращения Δx , Δy . С учетом этого уравнение Лапласа в однородной среде в конечно-разностной форме примет вид [3, 4]

$$u_{i,j} = \frac{u_{i+1,j} + u_{i-1,j} + u_{i,j+1} + u_{i,j-1}}{4}. \quad (1)$$

Так как диэлектрик внутри структуры неоднородный, появляется необходимость расчета поля на границе раздела двух сред. Уравнение (1) для данного случая запишется в виде [3, 4]

$$u_{i,j} = \frac{u_{i+1,j} + u_{i-1,j} + \frac{2\varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} u_{i,j+1} + \frac{2\varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} u_{i,j-1}}{4}. \quad (2)$$

Представленная структура является по сути трехэлектродной. Чтобы определить матрицу погонных емкостей, необходимо рассмотреть различные режимы возбуждения полосок РПЛ, показанные на рис. 4.

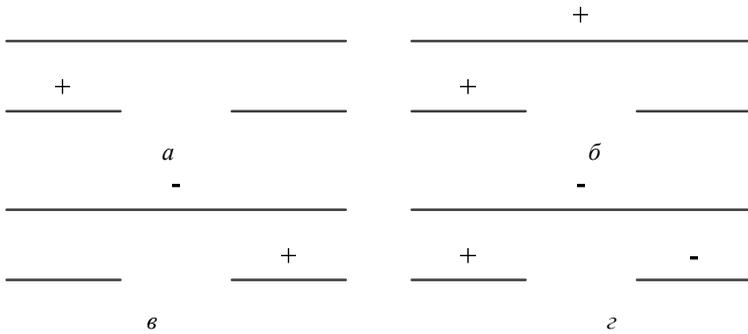


Рис. 4. Режимы возбуждения полосок РПЛ

Определим погонную емкость структур через полную энергию запасенной системы [3]. Энергия, запасенная в малой области размером $dx \times dy$, охватывающей точку (i, j) :

$$\Delta W_{i,j} = \frac{\varepsilon}{4} \left[(\varphi_{i,j} - \varphi_{i+1,j+1})^2 + (\varphi_{i+1,j} - \varphi_{i,j+1})^2 \right].$$

Полная энергия, запасенная в электрическом поле равна сумме энергий, запасенных в каждой из малых областей:

$$W = \sum_{i=1}^{i_{\max}-1} \sum_{j=1}^{j_{\max}-1} \Delta W_{i,j}.$$

Погонная емкость будет равна

$$C = 2W / \varphi_0^2, \quad (3)$$

где φ_0 – потенциал на полоске.

Картина электрических полей показана для введенных режимов возбуждения на рис. 5.

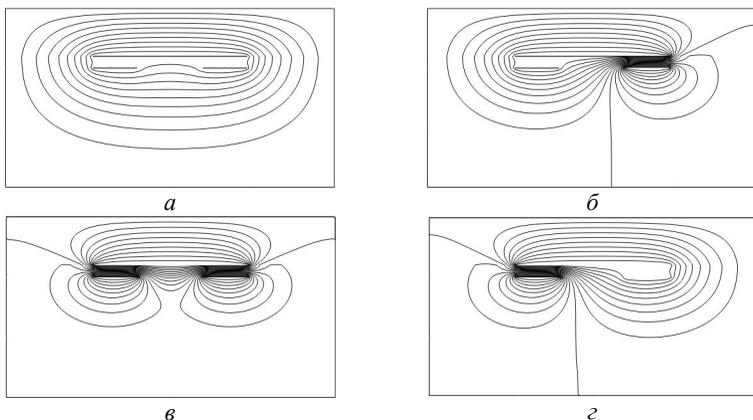


Рис. 5. Рассчитанные поля соответствующих режимов возбуждения

По формуле (3) получены погонные емкости для каждого из режимов возбуждения (размеры структуры см. на рис. 1):

$$C_1 = 246 \text{ пФ}; \quad C_2 = 1258 \text{ пФ}; \quad C_3 = 2176 \text{ пФ}; \quad C_4 = 1259 \text{ пФ}.$$

По полученным емкостям при разных режимах возбуждения полосок РПЛ составим матрицу собственных и взаимных емкостей:

$$[C] = \begin{bmatrix} 931,8 & -326,2 & -482,4 \\ -326,2 & 931,8 & -482,4 \\ -482,4 & -482,4 & 964,8 \end{bmatrix} \text{ пФ}.$$

Рассчитаем коэффициент связи между полосками:

$$k_C = \frac{\frac{1}{2} \cdot C_{13} + C_{12}}{\sqrt{C_{11} \cdot C_{22}}} = \frac{567,4 \cdot 10^{-12}}{931,8 \cdot 10^{-12}} = 0,6.$$

Как видим, полоски сильно связаны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малютин Н.Д. Многовязные полосковые структуры и устройства на их основе. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1990. 163 с.
2. Тамм И.Е. Основы теории электричества: учеб. пособие для вузов. М.: Наука, 1983. 504 с.
3. Фуско В. СВЧ-цепи. Анализ и автоматизированное проектирование: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1990. 288 с.
4. Вершинин И.М. Электротехника и электроника: лабораторный практикум для студентов. Томск: Ufo-press, 2002. 170 с.

ИМПУЛЬСНЫЙ РЕФЛЕКТОМЕТР НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ NATIONAL INSTRUMENTS

М.А. Лазько, студент, техник СКБ «Смена»

*Научный руководитель А.Г. Лоцилов, к.т.н., с.н.с. СКБ «Смена»
г. Томск, ТУСУР, каф. КСУП, tanzorr-team@sibmail.com*

Данная работа состоит в создании импульсного рефлектометра на базе измерительной платформы PXI National Instruments и графической среды программирования LabView [1], предназначенного для исследования характеристик информационных магистралей космических аппаратов. Хотя тестирование методом импульсной рефлектометрии не входит в перечень стандартных тестов, регламентированных ГОСТ Р 52070-2003, на наш взгляд, такой тип тестирования может быть полезен для анализа протяженных магистральных шин, доступ к отдельным частям которых затруднен. Метод импульсной рефлектометрии позволяет выявлять локальные неоднородности исследуемого объекта, определить свойства и положение каждой из неоднородностей. Косвенным подтверждением актуальности использования метода является наличие зарубежного комплекса Bus Characterization and Integrity Toolset [2], предназначенного для тестирования шины по MIL STD 1553 (аналога ГОСТ Р 52070–2003) в котором реализован режим измерения рефлектограмм.

Разработанная система включает в себя шасси PXI-1042Q производства National Instruments с входящими в него модулями контроллера, генератора PXI-5422, осциллографа PXI-5114 и аналоговой линией задержки, включенной на выходе комплекса. Внешний вид и структурная схема измерительной установки представлены на рис. 1.

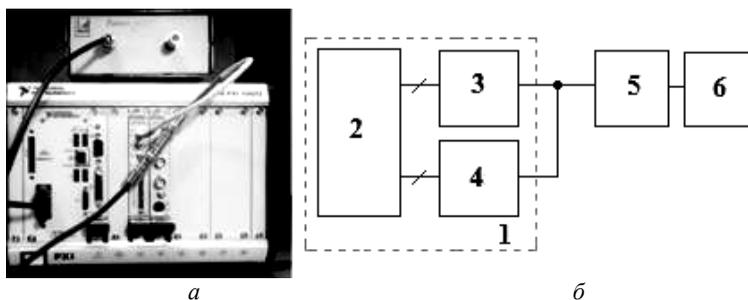


Рис. 1. Измерительная установка: *а* – внешний вид; *б* – структурная схема.

1 – шасси, *2* – контроллер, *3* – генератор сигналов произвольной формы, *4* – двухканальный аналого-цифровой преобразователь, *5* – линия задержки, *6* – исследуемый объект

Разработка в среде LabView осуществляется в двух режимах, каждому из которых соответствует свое функциональное окно: в одном из которых строится функциональная схема, определяющая алгоритм работы виртуального прибора; в другом окне располагаются визуальные компоненты (кнопки, поля ввода, графики и т.п.), предназначенные для реализации пользовательского интерфейса виртуального прибора. Внешний вид окон приведен на рис. 2 и 3.

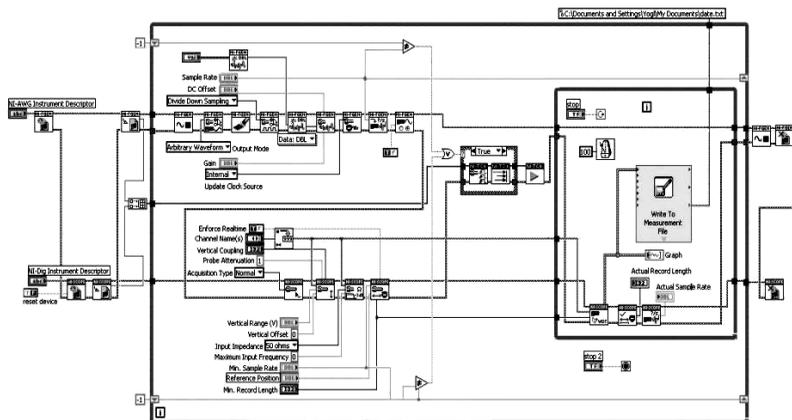


Рис. 2. Функциональная схема виртуального прибора

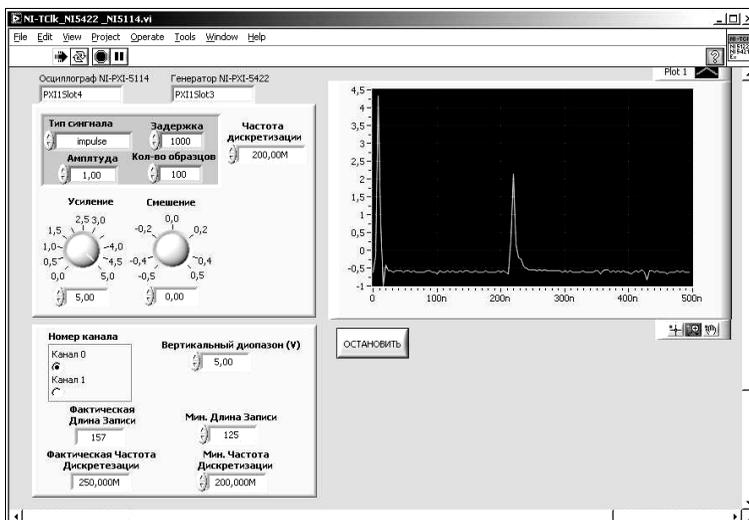


Рис. 3. Интерфейс виртуального рефлектометра

Алгоритм работы прибора включает в себя: генерацию тестового сигнала; задержку отраженного от объекта импульса при помощи аналоговой линии задержки; регистрацию тестового сигнала и откликов объекта цифровым осциллографом. Данные, полученные с осциллографа, отображаются на графике, находящемся на лицевой панели виртуального прибора. Синхронизация между блоками прибора осуществляется по шине PXI.

Были проведены экспериментальные исследования разработанного импульсного рефлектометра. Схема измерения и результаты измерений приведены на рис. 4.

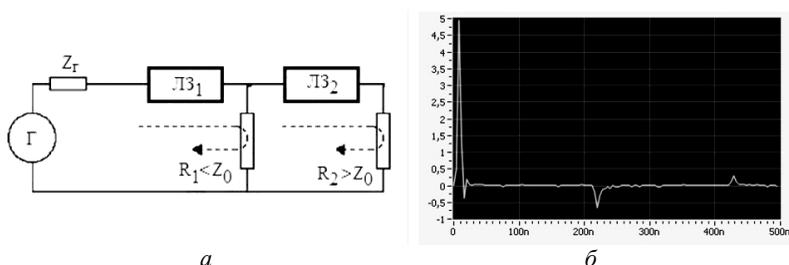


Рис. 4. Результаты экспериментальных исследований:
а – схема измерения; *б* – рефлектограмма

На основе результатов измерений установлено, что данная измерительная установка позволяет обнаруживать неоднородности исследуемой цепи с разрешающей способностью по дальности не менее 1,5 м.

Следует отметить, что данной разрешающей способности не всегда достаточно, так как информационная магистраль может содержать отрезки длиной от 20 см, и для разрешения неоднородностей на таком расстоянии требуется повышать частоту дискретизации осциллографа, уменьшать длительность зондирующего импульса.

ЛИТЕРАТУРА

1. LabView руководство пользователя [Электронный ресурс]: [пер. с англ.] / National Instruments Corporation. Электрон. тестовые дан. и граф. дан. 2003. Режим доступа: свободный (22.09.2010).
2. Defining Synchronized Instrumentation for Embedded Systems [Электронный ресурс]: [пер. с англ.] / ITCN | Электрон. тестовые дан. и граф. дан. 2009. Режим доступа: http://www.itcninc.com/products/BCIT/BCIT-Portable_Rugged_Network_Analyzer.php, свободный (10.12.2010).

СВЕРШИРОКОПОЛОСНЫЙ НАПРАВЛЕННЫЙ МОСТ ДИАПАЗОНА ОВЧ

Ф.А. Михеев, студент 5-го курса РТФ;

А.В. Фатеев, аспирант каф. СВЧ и КР

г. Томск, ТУСУР

Направленный мост необходим для выделения падающих и отражённых волн и может являться составной частью векторного анализатора цепей. Направленный мост может быть построен на основе комбинации сосредоточенных и распределённых элементов. Это делает выгодным его применение по сравнению с направленным ответвителем на связанных линиях, если необходимо включить область рабочих частот ниже 500 МГц.

Основой направленного моста является измерительный мост Уитстона, общая схема которого представлена на рис. 1.

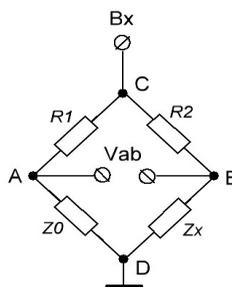


Рис. 1. Схема измерительного моста Уитстона:

R_1, R_2, Z_0, Z_x – плечи моста; AB – измерительная диагональ; CD – диагональ питания;

R_1, R_2, Z_0 – известные сопротивления;
 Z_x – измеряемое сопротивление

Если отношение сопротивлений R_1/R_2 равно отношению сопротивлений Z_0/Z_x , то разность потенциалов между точками AB будет равна нулю и ток между ними не будет протекать, т.е. мост будет сбалансирован, и тогда выполняется условие $R_1 Z_x = R_2 Z_0$. Если Z_x будет отличаться от сопротивления, при котором мост сбалансирован, то в диагонали AB возникнет разность потенциалов, характеризующая это отличие.

На ОВЧ схема, приведенная на рис. 1, представляет собой восьмиполосник или направленный ответвитель, у которого диагональ питания CD есть входной порт (номер 1), плечо BD – тестовый порт (номер 2), плечо AD – нагрузочный порт (номер 4), а диагональ AB – измерительный порт (номер 3). То есть сопротивление Z_0 в плече AD будет равно волновому сопротивлению портов, а как следствие, и волновому сопротивлению генератора. Тогда с помощью сопротивлений $R_2, R_1 = R_2 Z_0 / Z_x$ из условия балансировки моста можно устанавливать необходимый коэффициент деления мощности между выходным и измерительным портами. В случае, когда $R_1 = R_2$, мощность будет делиться между ними в отношении 1:1.

Рассогласование измерительного порта может быть найдено по формуле [1]

$$s_{22} = \frac{Z_0 \cdot R_2 - R_1 \cdot Z_x}{2 \cdot (Z_0 + R_1) \cdot (R_2 + R_1)}.$$

Для достижения идеального согласования тестового порта $s_{22} = 0$, необходимо выполнение условия

$$Z_0 \cdot R_2 = R_1^2.$$

При выполнении этого условия потери в основном и ответвленном каналах можно вычислить по формулам:

$$s_{21} = \frac{R_1}{R_2 + R_1}, \quad s_{32} = \frac{R_1}{Z_0 + R_1}.$$

Недостаток схемы, изображенной на рис. 1, заключается в том, что по принципу действия диагональ моста, с которой снимается сигнал (AB), не может быть заземлена, так как нарушается баланс моста. В то же время преобразующее устройство (детекторная или смесительная головка) обязательно имеет заземленный проводник. С помощью симметрирующего трансформатора симметричное диагональное напряжение может быть преобразовано в несимметричное, т.е. в потенциал относительно земли. Симметрирующий трансформатор, обеспечивающий переход от симметрично возбужденной диагонали к несимметричной коаксиальной линии, в значительной степени определяет диапазонные свойства моста.

Существуют симметрирующие трансформаторы на распределённых и на сосредоточенных параметрах. Конструкция симметрирующего трансформатора на сосредоточенных параметрах представляет собой две катушки, каркасом для которых служит ферритовый сердечник. Конструкция симметрирующего трансформатора на распределённых параметрах представляет собой коаксиальный кабель с надетыми на внешний проводник ферритовыми кольцами. Известная нам максимальная рабочая частота трансформаторов на сосредоточенных параметрах не превышает 3 ГГц. В основном это связано с полосой рабочих частот ферритового сердечника.

На основе схемы, приведённой на рис. 1, был создан экспериментальный образец направленного моста с трансформатором на сосредоточенных параметрах, имеющий полосу рабочих частот от 4,5 МГц до 2,5 ГГц. В качестве симметрирующего трансформатора был использован трансформатор ЕТС1-1-13 фирмы М/А-COM Technology Solutions, имеющий диапазон рабочих частот от 4,5 МГц до 3 ГГц. Печатная плата была выполнена из фольгированного фторопласта ФАФ-4Д. В качестве резисторов R_1 , R_2 , Z_0 применены резисторы поверхностного мон-

тажа типоразмера 0603 сопротивлением 49,9 и 100 Ом и точностью 1%. В качестве линии передачи на печатной плате была выбрана частично экранированная копланарная линия.

Основной характеристикой направленного моста является направленность. Направленность есть мера возможности ответвителя отделять сигналы, идущие в обратном направлении внутри устройства. Направленность D зависит от параметров: развязки $|s_{31}|$, ослабления в основном канале $|s_{21}|$ и коэффициента ответвления $|s_{32}|$. Эти параметры (в дБ) связаны между собой соотношением $D = |s_{31}| - (|s_{32}| + |s_{21}|)$. В созданном экспериментальном образце $|s_{31}|$ не хуже 28 дБ, $|s_{21}| = -6$ дБ, неравномерность $|s_{21}| = \pm 1,2$ дБ, $|s_{32}| = -6$ дБ, неравномерность $|s_{32}| = \pm 3,5$ дБ. Частотная зависимость направленности экспериментального образца приведена на рис. 2.

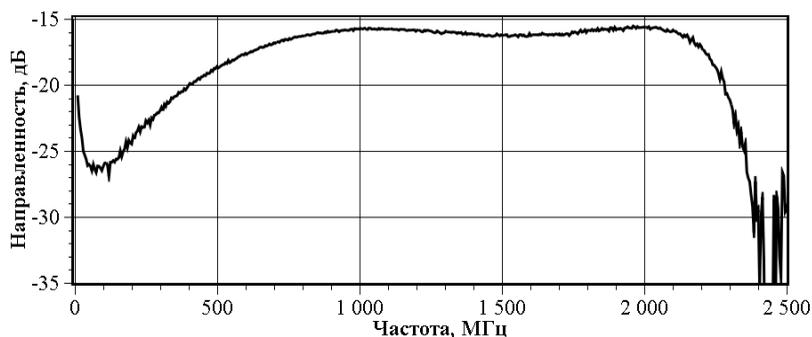


Рис. 2. Частотная зависимость направленности экспериментального образца

Выполнено в рамках проекта ГПО СВЧ и КР-0802 – «Сверхширокополосные пассивные устройства СВЧ-диапазона».

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в соответствии с договором 13.G25.31.0011 от 07.09.2010 г. в порядке реализации Постановления № 218 Правительства РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хибель М. Основы векторного анализа цепей: Пер. с англ. С.М. Смольского; под ред. У. Филипп. М.: Изд. дом МЭИ, 2009. 500 с.

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ ГЕТЕРОТРАНЗИСТОРОВ ПРИ ПОМОЩИ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

*К.Ю. Осипов, аспирант каф. ФЭ, и.о. нач. лаб. GaN МИСС;
А.В. Кручинкин, студент каф. ФЭ, лаборант
Научный руководитель В.А. Кагадей, проф. каф. ФЭ, д.ф.-м.н.
г. Томск, ЗАО «НПФ «Микран», docar@mail.ru*

В настоящее время транзисторы на основе гетеропереходов сложных полупроводниковых соединений являются самыми распространенными активными элементами, используемыми в интегральных и монолитных схемах СВЧ-диапазона. Столь широким распространением данные транзисторы обязаны своим рабочим характеристикам, которых невозможно достичь, используя стандартные кремниевые и арсенид-галлиевые технологии. В данной работе представлена методика использования систем технологического проектирования, которая позволяет создавать нелинейные модели транзисторов, имеющих различный состав и конструкцию гетероструктур. Полученные модели могут быть использованы при проектировании схем в симуляторах гармонического баланса.

Методика создания нелинейной табличной модели GaN НЕМТ на основе данных измерений ВАХ и S-параметров транзистора подробно описана в [1]. Задачей системы технологического проектирования Synopsys TCAD, является расчет всех необходимых характеристик транзистора (ВАХ, S-параметры и т.д.) на основе информации о конструкции гетероструктуры и топологии транзистора. Для решения этой задачи необходимо использовать ряд физических моделей, требующих предварительной калибровки. На рис. 1 показаны схема работы системы технологического проектирования, а также набор измерений, необходимых для калибровки и верификации физических моделей. Для расчета необходимых для построения нелинейной табличной модели характеристик транзистора нужно откалибровать физические модели, и выбрать алгоритм, по которому будет работать TCAD. Полученные после расчета результаты передаются в программу, создающую файлы базы данных табличной нелинейной модели, которую в последующем можно использовать в симуляторах гармонического баланса.

Приведенный на рис. 1 алгоритм был применен для создания нелинейной модели GaN НЕМТ. Движение носителей заряда описывалось с помощью дрейфово-диффузионного приближения, параметры внешних паразитных элементов малосигнальной эквивалентной схемы были получены путем экстракции из S-параметров, измеренных на модельном транзисторе.

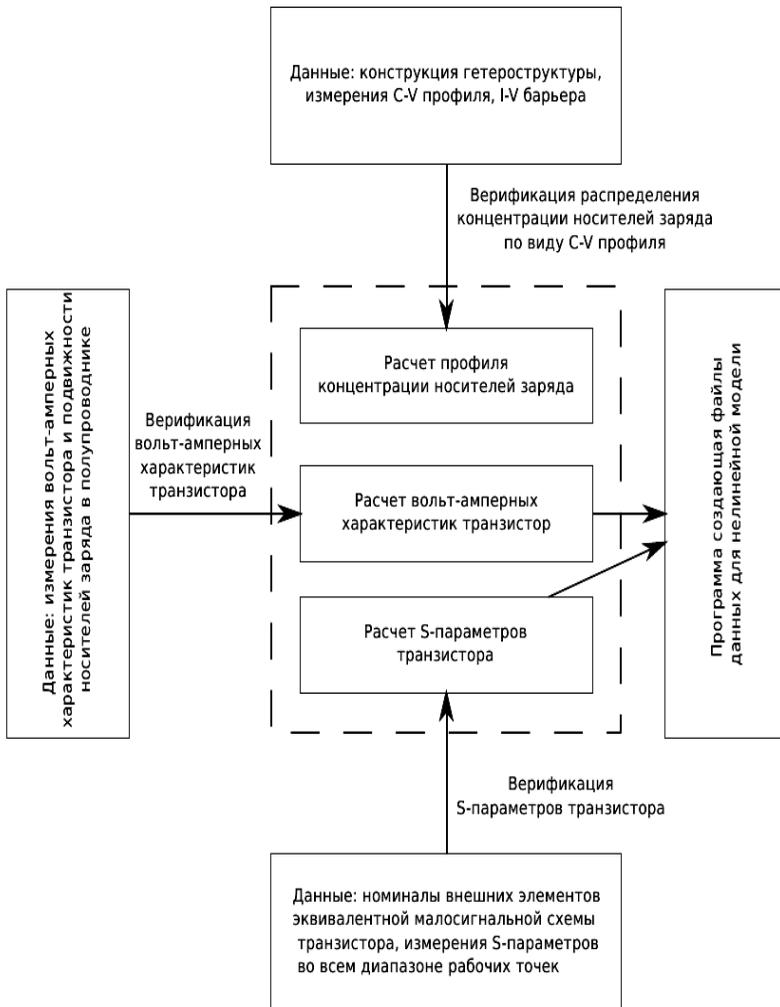


Рис. 1. Схема работы системы технологического проектирования

Сравнение результатов расчета ВАХ и S-параметров с измерениями приведено на рис. 2 и 3 соответственно. Как видно из рисунков, результаты расчета достаточно близки к результатам измерений, этот факт позволяет сделать вывод, что данные, полученные с помощью системы Synopsys TCAD, могут быть использованы для создания табличной нелинейной модели GaN HEMT.

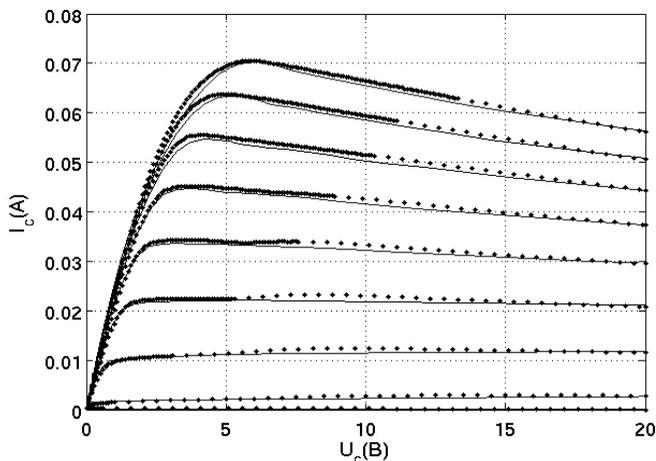


Рис. 2. Рассчитанные (сплошные линии) и измеренные (точки) вольт-амперные характеристики GaN HEMT

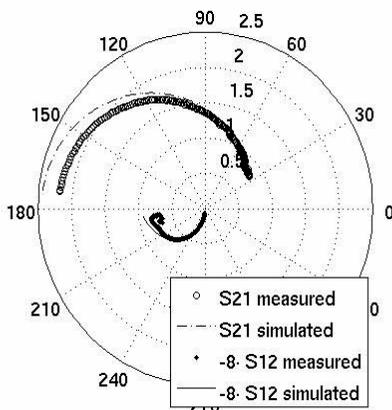


Рис. 3. Рассчитанные и измеренные S-параметры GaN HEMT

ЛИТЕРАТУРА

1. *Mengistu and Endalkachew Shewarega*. Large-Signal Modeling of GaN HEMTs for Linear Power Amplifier Design, University of Kassel, 111–120, January 2008.

СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, ОСНОВАННОЙ НА НУЛЕВОМ МЕТОДЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Д.Е. Параев, аспирант

Научный руководитель: А.В. Филатов, проф. каф. ТОР, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. ТОР, leopard@sibmail.com

Собственное излучение объектов имеет тепловую природу. Тепловые шумы порождают весьма слабые сигналы, поступающие в антенну. Для измерения электромагнитных флуктуационных сигналов очень слабой интенсивности используются высокочувствительные малозумящие приемники, которые называют радиометрами [1]. Среди различных схем самое широкое распространение получили модуляционные радиометры, в основу работы которых положен метод дифференциальных измерений. Модуляционные радиометры привлекают простой конструкцией, поэтому являются перспективными для повторений, что проявляется в массовом их использовании. Однако полной минимизации шумов приемника в модуляционной схеме не происходит. Заметно минимизировать эти изменения можно лишь в том случае, если применить в модуляционном радиометре нулевой метод измерений. Структурная схема радиометра основанного на нулевом методе измерений [2], отображена на рис. 1.

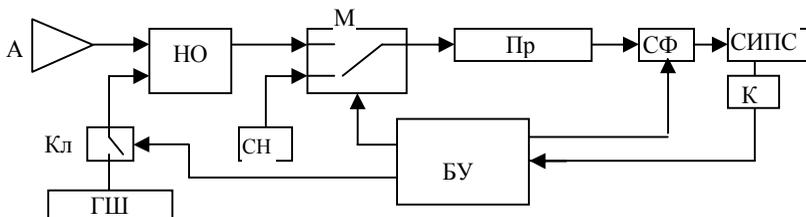


Рис. 1. Структурная схема нулевого радиометра:

А – антенна; НО – направленный ответвитель; Кл – ключ; ГШ – генератор шума; М – импульсный модулятор; СН – согласованная нагрузка; Пр – приемник; СФ – синхронный фильтр; СИПС – схема исключения постоянной составляющей; К – компаратор; БУ – блок управления

Принцип действия радиометра состоит в следующем. На время импульса, поступающего с блока управления, замыкается ключ, и шумовой сигнал генератора шума поступает в приемный тракт, увеличивает шумовую мощность сигнала антенны. Следовательно, средняя мощность сигнала в тракте антенны поднимается до величины сигнала согласованной нагрузки и на выходе модулятора в разные полупериоды модуляции наблюдаются сигнал антенны с подшумливанием и со-

гласованная нагрузка. Далее сигнал проходит через приемник, который содержит усилители и полосовые фильтры. Изменением длительности включения канала подшумливания разница мощностей сигналов в разные полупериоды модуляции сводится к минимуму. Мощность сигнала антенны определяется косвенно по длительности включения канала подшумливания.

Схема радиометрического приемника содержит достаточно много блоков, и для реализации устройства необходимо знать параметры каждого из них. Поэтому целесообразно создать виртуальную модель радиометра, которая позволит оценить влияние каждого из узлов радиометра на работу устройства в целом. Из существующих программных сред будем использовать AWR Design Environment [3], которая позволяет реализовать схему радиометра (рис. 2). Программное обеспечение позволяет осуществлять сквозное проектирование радиотехнических систем, которое включает в себя: анализ и оптимизацию принципиальных схем (Analog Office), электродинамическое моделирование (AXIEM), эмуляцию работы системы в целом (Visual system simulator).

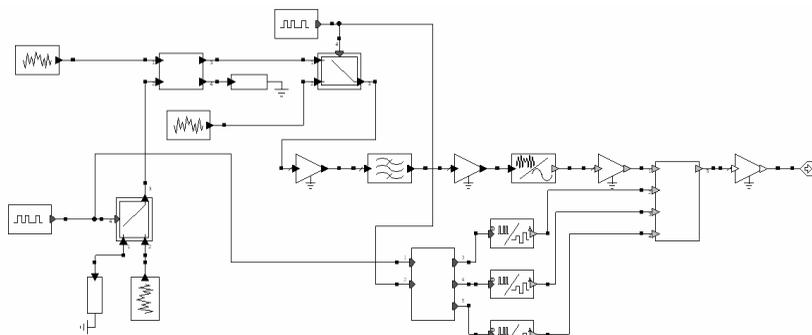


Рис. 2. Модель нулевого радиометра в программной среде AWR Design Environment

На начальном этапе производилось моделирование на системном уровне. Для построения модели системы использовались стандартные библиотеки элементов среды Visual system simulator. Но в стандартном наборе элементов присутствуют не все необходимые блоки. Решением этой проблемы явилась интеграция уровня принципиальных схем Analog Office на системный уровень в виде блока. Так, например, блок направленного ответвителя был реализован из элемента – связанные линии и настроен на необходимую частоту и связь (рис. 3).

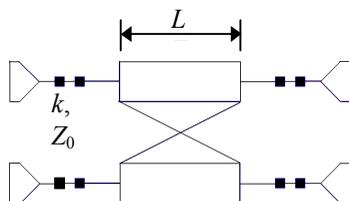


Рис. 3. Электрическая модель направленного ответвителя: L – электрическая длина отрезка связанных линий, k – коэффициент электромагнитной, Z_0 – среднегеометрическое волновое сопротивление отрезка связанных линий

В процессе моделирования блока направленного ответвителя была применена функция ручной подстройки коэффициента связи до необходимого значения. Для реализации модели направленного ответвителя на основе отрезка связанных линий передачи необходимо было рассчитать значения сопротивления четного Z_{oe} и сопротивление нечетного Z_{oo} режима по формулам [4]

$$Z_{oe} = Z_0 \cdot \sqrt{\frac{1+k}{1-k}},$$

$$Z_{oo} = Z_0 \cdot \sqrt{\frac{1-k}{1+k}}.$$

В результате была получена модель направленного ответвителя с уравновешенной связью, частотные характеристики которой полностью описываются параметрами: L , k и Z_0 . Параметры модели можно менять в реальном масштабе времени и сразу же наблюдать результат изменений.

Также в стандартном наборе блоков недостает блока синхронного детектора, который в настоящее время находится в разработке и тестируется.

Полученная модель позволяет менять характеристики каждого из узлов и отслеживать изменение сигнала в любой точке схемы.

В результате проделанной работы была создана модель радиометрической системы основанной на нулевом методе. При этом получены навыки создания моделей системных блоков на схемном уровне. Созданная модель поможет ускорить настройку и подбор параметров блоков проектируемого радиометра, т.е. произвести параметрическую оптимизацию радиометра. Полученные результаты могут быть применены в образовательном процессе в рамках группового проектного обучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Радиовидение*. Радиолокационные системы зондирования Земли. Учеб. пособие для вузов / Под ред. Г.С. Кодратенкова. М.: Радиотехника, 2005. 368 с.
2. *Филатов А.В.* Радиометрические системы нулевого метода измерений. Томск: Том. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. С. 34–37.
3. *Дмитриев Е.Е.* Основы моделирования в Microwave Office 2009. М.: Солон-пресс, 2010. 176 с.
4. *Конструирование* и расчет полосковых устройств. Учебное пособие для вузов / Под ред. И.С. Ковалева. М.: Сов. радио, 1974.

СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТЫ ДЛЯ СТРОБОСКОПИЧЕСКОГО АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

А.Д. Савченко, студент 6-го курса ЗиВФ

*Научный руководитель А.Г. Лоцилов, к.т.н., с.н.с. СКБ «Смена»
г. Томск, ТУСУР, savdenan@sibmail.com*

В настоящее время в СКБ «Смена» ведется работа по исследованию и разработке нелинейного рефлектометра для автоматизированной системы контроля информационных магистралей космических аппаратов. Ранее там же были проведены исследования и разработка экспериментальной установки для изучения нелинейности преобразования широкополосных импульсных сигналов [1]. В соответствии с методом нелинейной рефлектометрии для получения нелинейной рефлектограммы устройства необходимо осуществить воздействие на него парой тестовых сигналов [2]. Отклик на это воздействие регистрируется стробоскопическим осциллографом или стробоскопическим аналого-цифровым преобразователем (АЦП). Для работы такого стробоскопического АЦП необходимо разработать синтезатор частоты. В данной работе представлены предварительные результаты разработки синтезатора частоты.

Описание синтезатора частоты

Под термином «синтезатор частоты» понимают электронное устройство, способное формировать из опорной частоты требуемую частоту или набор частот согласно управляющим сигналам. При этом должны выполняться требования к стабильности частоты, шагу перестройки, возможности автоматической регулировки. В разрабатываемом синтезаторе частоты эти требования удовлетворяются путем применения технологии прямого цифрового синтеза. Преимущество такого подхода в том, что он позволяет осуществить быструю электронную перестройку рабочей, в том числе и сверхвысокой частоты,

сохраняя при этом ее высокую стабильность, высокое быстродействие при малом шаге сетки частот.

На рис. 1 показана структурная схема разрабатываемого синтезатора частоты.

В опорном генераторе сигнал от кварцевого резонатора частотой 50 МГц разделяется на два канала. Первый канал является каналом опорной частоты (F_{ref}), которая получается делением исходной частоты кварцевого резонатора на целое число от 1 до 1024. Коэффициент деления задается настройкой напряжения на управляющих входах микросхем AD9515. Второй канал синтезатора частоты предназначен для генерации частоты $F_{ref+\Delta}$, необходимой для обеспечения стробоскопической оцифровки сигналов аналого-цифровым преобразователем.

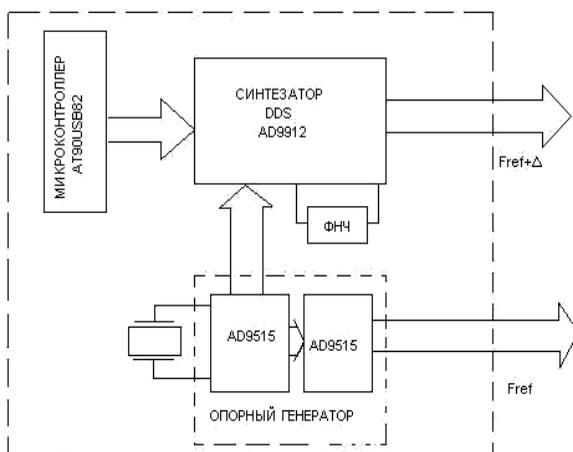


Рис. 1. Структурная схема синтезатора частоты

Схема включения синтезатора подразумевает использование внешнего фильтра нижних частот для подавления высокочастотных составляющих в генерируемом синусоидальном сигнале. Кроме того, синтезатор содержит встроенный ограничитель уровня, который позволяет получить из гармонического сигнала последовательность прямоугольных импульсов. Преимуществом AD9912 является высокая стабильность, высокое разрешение по частоте – до 3,6 мГц, а цифровой последовательный интерфейс позволяет реализовать управление работой синтезатора микроконтроллером AT90USB82.

Заключение

В результате была разработана структурная схема синтезатора частоты для стробоскопического аналого-цифрового преобразователя и выбрана элементная база. В дальнейшем будет разработана схема

электрическая принципиальная, топология печатной платы и выполнены экспериментальные исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лоцилов А.Г.* Экспериментальная установка для исследования характеристик нелинейности СВЧ-цепей в режиме сверхширокополосного импульсного воздействия / А.Г. Лоцилов, Э.В. Семенов, Н.Д. Малютин // Докл. Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. 2010. №2(22), ч. 1. С. 161–165.

2. *Лоцилов А.Г.* Разработка устройств обработки сверхширокополосных импульсных сигналов для исследования нелинейных свойств объектов методом нелинейной рефлектометрии / А.Г. Лоцилов, Э.В. Семенов, Н.Д. Малютин и др. // Докл. Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. 2010. №2(22), ч. 1. С. 166–170.

ЭКСТРАКЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ДИОДА С НАКОПЛЕНИЕМ ЗАРЯДА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА ПЕРЕХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

С. И. Смирнов, студент 4-го курса РКФ, техник СКБ «Смена»

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

г. Томск, ТУСУР, sm135@bk.ru

В статье предложена и апробирована методика восстановления параметров эквивалентной схемы СВЧ-диода с накоплением заряда по результатам анализа отклика диода на перепад напряжения.

Современные системы автоматизированного проектирования (САПР) позволяют осуществлять сквозное проектирование радиотехнических устройств, включая: анализ характеристик принципиальной схемы в частотной и временной областях, расчет нелинейных цепей методом гармонического баланса, электродинамический анализ СВЧ-устройств, параметрическую оптимизацию и т.д. Недостатком зарубежных программ является отсутствие или немногочисленность библиотечных моделей элементов отечественного производства. Хотя некоторые из таких элементов не уступают по своим характеристикам мировым аналогам, а иногда и превосходят их.

Исходя из вышесказанного, представляется актуальной задача восстановления параметров моделей отечественных электрорадиоэлементов для их дальнейшего использования в современных системах автоматизированного проектирования.

В данной статье предложена методика восстановления параметров эквивалентной схемы диодов с накоплением заряда (ДНЗ) по результатам анализа его переходной характеристики. Методика была апроби-

рована при восстановлении параметров модели диода 2Д528А. Суть предлагаемой методики заключается в анализе отклика объекта, полученного в результате эксперимента, и отклика модели элемента, полученного в среде автоматизированного проектирования. Подбором параметров модели элемента достигается совпадение откликов, которое и является критерием достоверности определения параметров модели.

Для апробации методики была изготовлена экспериментальная установка, состоящая из: генератора сигналов произвольной формы AFG3101; измерительной платы, содержащей диод с накоплением заряда 2Д528А, подключенный катодом к сигнальной линии, а анодом на общий провод; стробоскопического осциллографа Tektronix 11801В со смесителем SD24. Перепад напряжения подавался на вход диода. Сигнал с выхода регистрировался стробоскопическим осциллографом. Также была создана программная модель в среде Microwave Office [1]. Для данной экспериментальной установки была создана схема модели, которая приведена на рис. 1.

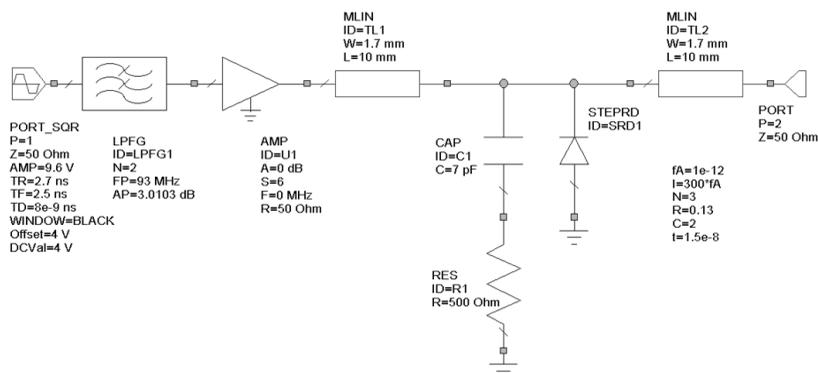


Рис. 1. Модель измерительной установки

Для получения модели диода анализировались следующие основные параметры: I_s , А – обратный ток насыщения; T_T , нс – время переноса заряда; N – коэффициент эмиссии; C_{J0} , пФ – емкость диода при нулевом смещении; R_s , Ом – последовательное сопротивление.

Процесс подбора параметров состоял из следующих этапов.

На начальном этапе устанавливалось время переноса заряда (T_T), в первом приближении значение времени было взято из справочника [2]. В ходе анализа характеристик модели было установлено, что изменение значения данного параметра влияет на положение фронта и уровень отрицательного смещения сигнала на выходе диода. Также выяснилось, что на те же самые параметры формы выходного сигнала

влияет N – коэффициент эмиссии. Вариацией данных параметров достигалось максимальное совпадение описанных участков расчетной и экспериментальной кривой.

На следующем этапе определялись параметры C_{j0} и R_s . Было установлено, что значения данных параметров в первую очередь определяют форму перепада сигнала на выходе у основания и на вершине.

На заключительном этапе определялось положение точки перегиба фронта сигнала путем подбора значения обратного тока насыщения диода (I_s).

На рис. 2 представлены результаты сравнения переходных характеристик диода 2Д528А и его модели в среде Microwave Office.

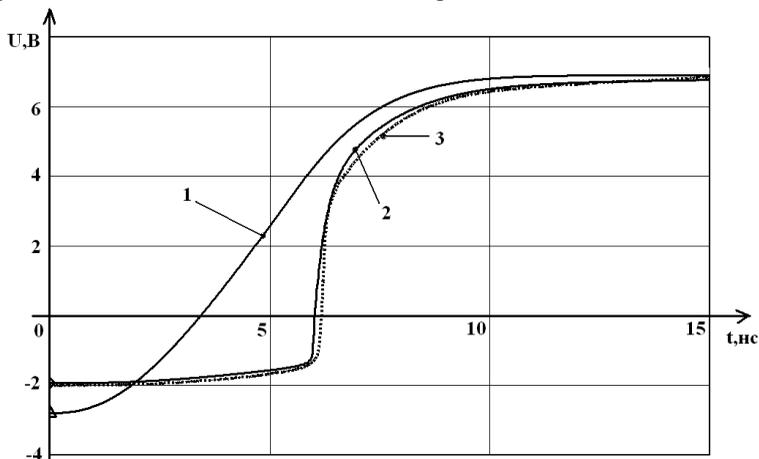


Рис. 2. Сигналы на входе и выходе диода: 1 – зондирующий перепад напряжения; 2 – перепад напряжения на выходе (модель); 3 – перепад напряжения на выходе (эксперимент)

Из графиков (рис. 2) видно хорошее совпадение расчетных и экспериментальных характеристик. В таблице приведены параметры эквивалентной схемы диода.

Параметры эквивалентной схемы

Параметр	Полученные значения	Справочные данные [2]
I_s , А	$300 \cdot 10^{-12}$	–
T_T , нс	15	10
N	3	–
C_{j0} , пФ	2	0,85
R_s , Ом	1,3	–

При сравнении полученных параметров эквивалентной схемы ДНЗ со справочными данными выяснилось, что значения некоторых параметров отличаются в разы. Это не всегда можно объяснить паразитными явлениями. Например, значение емкости C_{j0} отличается от справочной почти в 2,5 раза, кроме того, в процессе моделирования потребовалось ввести дополнительное RC-звено (см. рис. 1), включенное параллельно диоду.

Необходимость введения дополнительных параметров модели диода может говорить либо о недостаточно полной исходной модели диода, либо о том, что существует множество наборов параметров модели диода, имеющих близкие характеристики (в том числе содержащие дополнительные элементы). Критерием достоверности полученной модели и практической значимости предлагаемой методики является достаточное для дальнейшего проектирования совпадение расчетных и экспериментальных характеристик. Необходимо отметить, что такое совпадение выполняется при измерении параметров тестового воздействия в широком диапазоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Разевиг В.Д.* Проектирование СВЧ-устройств с помощью Microwave Office / В.Д. Разевиг, Ю.В. Потапов, А.А. Курушин. М.: Солон-Пресс, 2003. 496 с.
2. *Григорьев О.П.* Диоды: Справочник / О.П. Григорьев, В.Я. Замятин, Б.В. Кондратьев, С.Л. Пожидаев. М.: Радио и связь, 1990. 336 с.

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАКЕТА ГЕНЕРАТОРА ПЕРЕПАДА НАПРЯЖЕНИЙ СУБНАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ НА ОСНОВЕ ДИОДА С НАКОПЛЕНИЕМ ЗАРЯДА

С.И. Смирнов, студент 4-го курса РКФ, техник СКБ «Смена»

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

г. Томск, ТУСУР, sm135@bk.ru

Целью настоящей работы является поиск схемотехнических решений для создания генератора перепада напряжений с длительностью фронта порядка нескольких сотен пикосекунд и амплитудой от 5 В и более.

Из существующих подходов к проектированию таких устройств [1] нами выбран способ формирования коротких перепадов путём обострения переднего фронта прямоугольных импульсов с использованием диода с накоплением заряда (ДНЗ).

Основным элементом, формирующим перепад напряжения с фронтом субнаносекундной длительности, был выбран диод КД528А, для которого ранее была получена модель [2] для среды проектирования Microwave Office.

На рис. 1 приведена схема экспериментальной установки для исследования режима работы диода в качестве обострителя фронта сигнала.

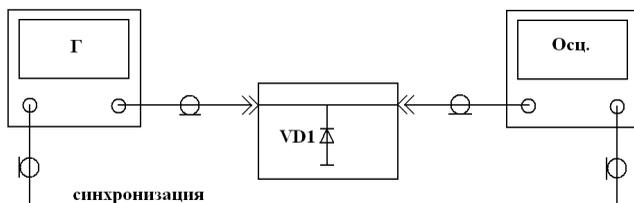


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Схема включает в себя генератор сигналов произвольной формы Tektronix AFG3101 (Г), стробоскопический осциллограф Tektronix 11801B (Осц.) и обостритель фронта сигнала на основе ДНЗ диода (VD1).

Генератор произвольной формы служит для формирования периодической последовательности прямоугольных импульсов с параметрами, позволяющими обеспечить необходимое задающее воздействие: амплитуда 10 В; время нарастания переднего фронта 5 нс; возможность регулировки уровня постоянной составляющей.

В ходе работ экспериментально была определена величина отрицательного смещения, которая для ДНЗ КД528А составила 2,5 В. Смещение необходимо для того, чтобы диод (см. рис. 1) в момент воздействия на него отрицательного смещения, находясь в открытом состоянии, успел накопить необходимый для дальнейшего обострения заряд. На рис. 2 приведены результаты экспериментальных исследований диода.

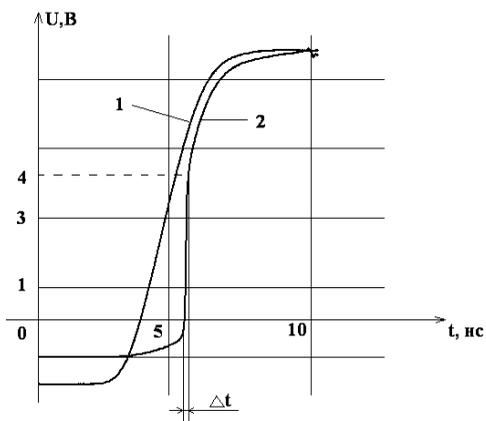


Рис. 2. Результат обострения части фронта: 1 – исходный перепад напряжения; 2 – перепад напряжения на выходе диода

Из рис. 2 видно, что исследуемая схема не позволяет обострить полный фронт тестового воздействия, диод эффективно работает при значении напряжения не более 4 В.

Решение возникшей проблемы было произведено путём включения дополнительной индуктивности, что существенно увеличило амплитуду, а использование нескольких каскадов позволило получить требуемую длительность фронта $\Delta t = 100$ пс. Окончательная схема эксперимента представлена на рис. 3.

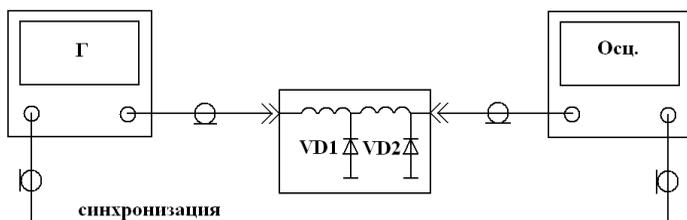
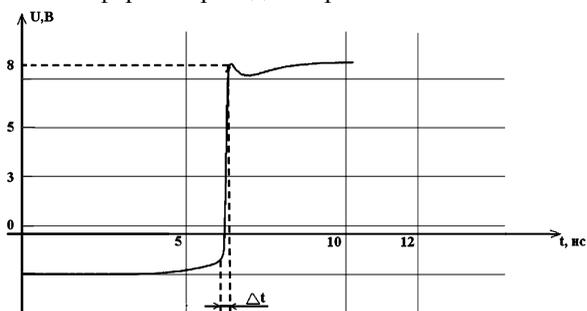


Рис. 3. Конечная схема эксперимента

На рис. 4 представлена форма перепада напряжения.

Рис. 4. Результат полного обострения



В результате работы изготовлена и исследована схема обострителя фронта сигнала на основе диодов с накоплением заряда. Изготовленный обостритель имеет следующие параметры: амплитуда сигнала – 8 В; длительность фронта по уровню 10–90% – 100 пс; длительность фронта задающего сигнала – не более 5 нс.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Илюшенко В.Н.* Пикосекундная импульсная техника. М.: Энергоатомиздат, 1993. 368 с.
2. *Смирнов С.И.* Экстракция параметров модели диода с накоплением заряда по результатам анализа переходной характеристики / С.И. Смирнов, А.Г. Лошилов // Матер. докл. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2011», Томск, 4–6 мая 2011 г. Томск: В-Спектр, 2011. Ч. 1. Наст. сб.

РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА ИМПУЛЬСОВ СУБНАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

*С.И. Смирнов, студент 4-го курса РКФ, техник СКБ «Смена»
Научный руководитель А.Г. Лоцилов, к.т.н., с.н.с. СКБ «Смена»
г. Томск, ТУСУР, sm135@bk.ru*

В рамках проекта по созданию нелинейного импульсного рефлектометра [1] перед нами встала задача разработки генератора сигналов, позволяющего формировать сверхширокополосные импульсы и обеспечивать спектр тестового воздействия в полосе частот от постоянного тока до 1,5–2 ГГц. Разрабатываемый генератор может быть использован как самостоятельное устройство, так и в составе измерительного комплекса для исследования характеристик цепей, в том числе характеристик нелинейности преобразования сверхширокополосных импульсных сигналов [2].

Опираясь на опыт предыдущих работ [3, 4], основой генерации явилось использование диодов с накоплением заряда (ДНЗ).

Функционально разрабатываемый генератор может быть разделён на три блока: блок задающего воздействия, промежуточный каскад (буферное устройство), формирователь импульсов. Структурная схема генератора представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема генератора

В качестве источника задающего воздействия использовался генератор импульсов прямоугольной формы с частотой следования 100 кГц. Буферное устройство служит для развязки задающего генератора и формирователя импульсов, а также обеспечивает необходимый импульсный ток (до 1 А). Следующий каскад позволяет сформировать передний фронт сигнала, длительностью менее 100 пс. Окончательно формирует импульсы окончательный каскад – формирователь заднего фронта.

Был изготовлен макет формирователя импульсов, фотография макета представлена на рис. 2.

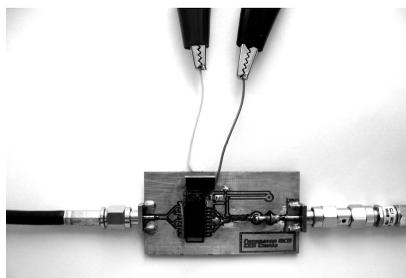


Рис. 2. Фотография макета формирователя импульсов

На рис. 3 приведена форма сигнала, измеренная на выходе генератора импульсов. Сигнал был измерен на стробоскопическом осциллографе Tektronix 11801B со смесителем SD24.

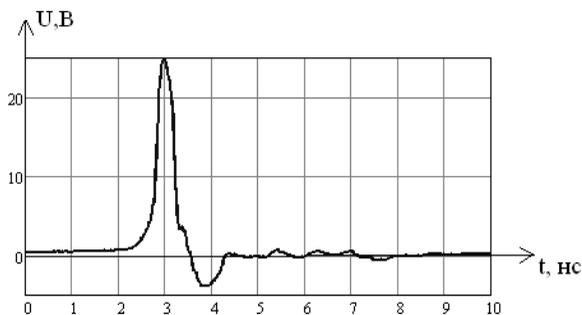


Рис. 3. Форма импульса на выходе генератора

В таблице приведены основные параметры разработанного генератора импульсов.

Параметры генератора

Параметр	Значение
Напряжение питания, В	6
Частота следования импульсов, кГц	100
Амплитуда импульсов, В	10–40
Длительность по уровню 10%, пс	500

Необходимо отметить несколько ключевых моментов уже имеющегося результата, а также осветить круг вопросов, связанных с последующим развитием темы. Из рис. 2 видно, что наряду с импульсом выходной сигнал генератора содержит нежелательные осцилляции, следующие за импульсом. Решение этой проблемы может быть произведено с помощью минимизации паразитных связей, возникающих в линии между буферным устройством и формирователем импульсов. Другим путём устранения нежелательных составляющих сигнала яв-

ляется применение развязывающих диодов Шоттки между каскадами генератора и/или на его выходе.

В планы дальнейших работ входит достижение меньшей длительности импульсов (до 30–50 пс), а также модернизация схемы с целью получения возможности управления основными параметрами импульсов: длительность, амплитуда, частота следования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лощилов А.Г.* Исследование компонентов информационных магистралей космических аппаратов с использованием метода нелинейной рефлектометрии в субнаносекундном диапазоне / А.Г. Лощилов, Э.В. Семёнов // Матер. науч.-техн. конф. молодых специалистов ОАО «Информационные спутниковые системы». Железногорск, 2011. С. 125–127.

2. *Илющенко В.Н.* Пикосекундная импульсная техника. М.: Энергоатомиздат, 1993. 368 с.

3. *Смирнов С.И.* Экстракция параметров модели диода с накоплением заряда по результатам анализа переходной характеристики / С.И. Смирнов, А.Г. Лощилов // Матер. докл. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2011», Томск, 4–6 мая 2011 г. Томск: В-Спектр, 2011. Ч. 1. Наст. сб.

4. *Смирнов С.И.* Разработка и экспериментальные исследования макета генератора перепада напряжений пикосекундной длительности, на основе диода с накоплением заряда / С.И. Смирнов, А.Г. Лощилов // Матер. докл. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2011», Томск, 4–6 мая 2011 г. Томск: В-Спектр, 2011. Ч. 1. Наст. сб.

МАКЕТ ЦИФРОВОГО БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ МНОГОКАНАЛЬНОЙ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

И.С. Тарасов, студент 2-го курса

Научный руководитель А.В. Убайчин, аспирант каф. ТОР,

м.н.с. СКБ «Смена»

г. Томск, ТУСУР, каф. ТОР, subclas@mail.ru

Сегодня одним из неотъемлемых атрибутов современной радиотехники является программирование микропроцессоров. На данном этапе разработки многоканальной радиометрической системы поставлена задача реализации алгоритма синхронно выполняемой амплитудной широтной и импульсной модуляции для управления радиометром, описанным в [1], на отладочной плате Atmel AT91SAM7X.

Важнейшей характеристикой микроконтроллера SAM7 является выполнение задач в режиме реального времени. Пользовательский интерфейс микроконтроллера позволяет реализовать алгоритм [1] оп-

тимальным образом: при его выполнении не используется вычислительная мощность ядра микроконтроллера, весь алгоритм выполняется синхронно и аппаратно, что позволяет оптимальным образом использовать вычислительные ресурсы ядра.

Аппаратная реализация алгоритма выполняется с использованием 16-разрядных счетчиков, управляемых отдельным контроллером, входящим в состав вычислительного ядра SAM7. Каждый счетчик включает в себя три идентичные 16-битные линии ввода-вывода. Линии могут независимо программироваться для выполнения широкого спектра функций, таких как измерение частоты, подсчет событий, измерение временных интервалов, а также генерация импульсов, синхронизация задержек и широтно-импульсной модуляции.

Линия ввода-вывода имеет три внешних и пять внутренних входов синхронизации, а также два многоцелевых канала ввода/вывода (ТЮА, ТЮВ). ХС0, ХС1, ХС2 – внешние входы синхронизации. ТЮА, ТЮВ в режиме захвата являются входами счетчика, в режиме формирования – выходом счетчика. INT – выход сигнала прерывания. SYNC – вход сигнала синхронизации.

Каждая линия организована на базе 16-битного аппаратного счетчика, содержимое которого увеличивается на 1 по каждому положительному фронту выбранной последовательности синхроимпульсов. Когда значение счетчика достигнет 0xFFFF, то происходит его переключение и сброс в значение 0x0000.

Для того чтобы в линии ввода-вывода счетчика можно было измерить длительность импульсов, частоту и фазу сигналов на выводах ТЮА и ТЮВ, логика счетчика переводится в режим захвата. Для захвата используются регистры А и В (RA, RB). Это значит, что в них может быть загружено текущее значение счетчика.

В режиме формирования счетчик может сгенерировать 1 или 2 ШИМ-сигнала с одинаковой частотой, но независимо программируемыми рабочими циклами, или генерирует различные одиночные или повторяющиеся импульсы. Регистры RA, RB и RC в данном случае могут использоваться как регистры сравнения. RA – для управления выводом ТЮА, RB – для управления ТЮВ. Содержимое RC управляет выводом ТЮВ и/или ТЮА [2].

Заключение

В ходе проделанной работы был успешно реализован алгоритм синхронно выполняемой амплитудной широтной и импульсной модуляции. Результаты приведены в виде сформированной импульсной последовательности (рис. 1).

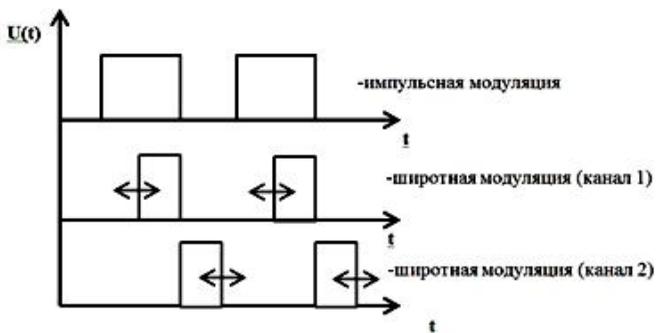


Рис. 1. Широтно-импульсная модуляция

В дальнейших планах – продолжить реализацию цифрового блока управления:

- реализация связи с ЭВМ по USB, RS-232, Ethernet;
- вывод графической информации на дисплей;
- выполнение первичной математической обработки на микроконтроллере;
- оптимизация программы вычислительного модуля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Филатов А.В., Убайчин А.В., Жуков Н.О. Двухканальный микроволновый радиометр повышенной точности // Радиотехника. 2011. №1. С. 47–51.
2. Редькин П.П. 32/16-битные микроконтроллеры ARM7 семейства AT91SAM7 фирмы ATMEL. Додэка-XXI, 2008. 704 с.

ОПОРНЫЙ ГЕНЕРАТОР ШУМА ДИАПАЗОНА СВЧ ДЛЯ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НУЛЕВОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ С ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПОДШУМЛИВАНИЕМ

А.В. Убайчин, аспирант, м.н.с. СКБ «Смена»

Научный руководитель А.В. Филатов, проф. каф. ТОР, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. ТОР, dualog@mail.ru

Нулевой метод приёма, описанный в [1], и его модификация с применением синхронно выполняемой амплитудной и широтно-импульсной модуляции для управления коммутацией антенного канала используют в качестве компенсации входного воздействия антенного сигнала активные генераторы шума СВЧ.

Существует множество практических схем генераторов шума диапазона СВЧ, однако следует выделить некоторые характерные отличия для генераторов, используемых в радиометрических системах, в том числе модуляционных.

Основные свойства генератора шума, применяемого в радиометрических системах:

- низкая интенсивность генерируемой мощности, обычно до 10^6 К при решении задач дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ);
- линейность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) в пределах сотен мегагерц порядка 1–2 дБ;
- высокая долговременная стабильность;
- малое время переходного процесса в импульсном режиме питания (быстрый разогрев кристалла активного элемента и т.д.).

Классикой в радиометрических системах является схема с применением лавинно-пролетного диода (ЛПД).

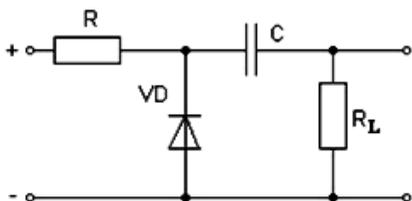


Рис. 1. Генератор шума на ЛПД

Несмотря на простоту технического исполнения, которая является основным преимуществом этого решения, данная схема обладает следующими недостатками:

- ЛПД дорогостоящи;
- генераторы на ЛПД требуют высоких номиналов сопротивления резистора R, порядка сотен килоом (режим питания от источника тока), что влечет увеличение напряжения питания генератора;
- необходимы дополнительные цепи стабилизации тока диода.

Подобная схема применяется для генераторов на диодах Ганна. Генераторы на диодах Ганна не находят широкого применения ввиду следующих причин:

- диоды Ганна дорогостоящи и труднодоступны в коммерческом использовании;
- в режиме генерации диод потребляет значительную мощность;
- следствие предыдущего – необходим надежный теплоотвод;
- диоды Ганна генерируют слишком высокую мощность;
- вследствие нагрева возможна быстрая деградация активной зоны;
- диод проявляет значительную временную нестабильность.

В настоящее время широкое применение находят генераторы, в которых активным элементом является биполярный транзистор. В качестве рабочей области используется переход эмиттер–база. В таком включении транзистор работает в режиме обратноробитого стабилитрона.

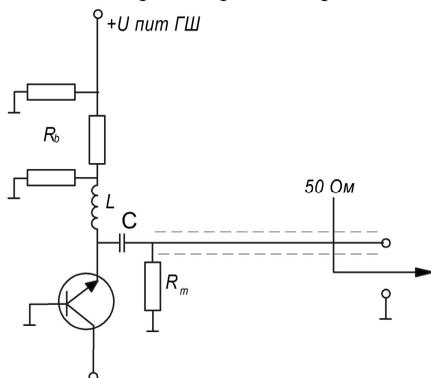


Рис. 2. Генератор шума с активным элементом в виде *n-p-n*-транзистора

Основным достоинством схемы является ее простота, применение недорогих элементов. Так, в качестве активного элемента использован транзистор ВС 848 – граничная частота усиления по току – 450 МГц [2].

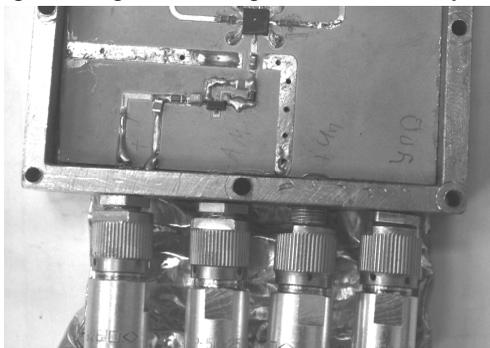


Рис. 3. Фотография секции генератора шума во входном блоке радиометрической системы

Говоря о некоторых практических нюансах реализации схемы генератора, необходимо отметить следующие:

- сопротивление делителя R_b выбирается из критериев реализации режима питания от источника тока;
- дифференциальное сопротивление перехода эмиттер–база транзистора в рабочей области составляет 10–20 кОм;
- номинал дросселя L должен обеспечивать необходимый импеданс на рабочих частотах;
- разделительная емкость и согласующий резистор R_m , необходимый для согласования с микрополосковым волноводом, при трассировке платы следует располагать максимально близко к активному элементу – транзистору;

– коллектор транзистора следует гальванически «отвязать» от прочих элементов схемы.

На рис. 4 приведена экспериментальная зависимость генерируемой мощности в диапазоне частот 2,2–2,6 ГГц. Как видно из графика, наиболее линейный участок АЧХ расположен в диапазоне 2,3–2,4 ГГц. Характерные выбросы на графике – несущие частоты радиосвязной аппаратуры.

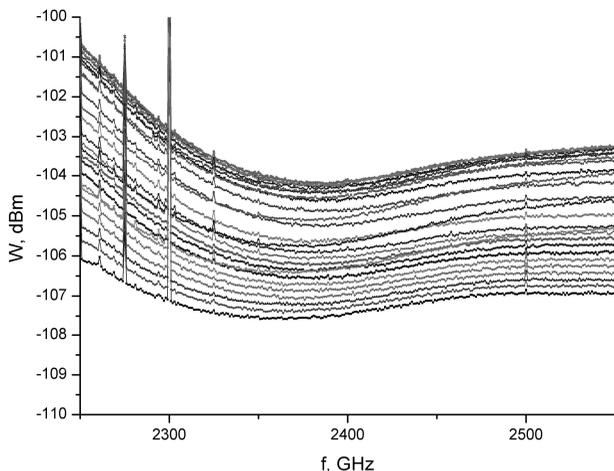


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика генератора

На рис. 5 представлена экспериментальная зависимость генерируемой мощности от тока активной зоны транзистора.

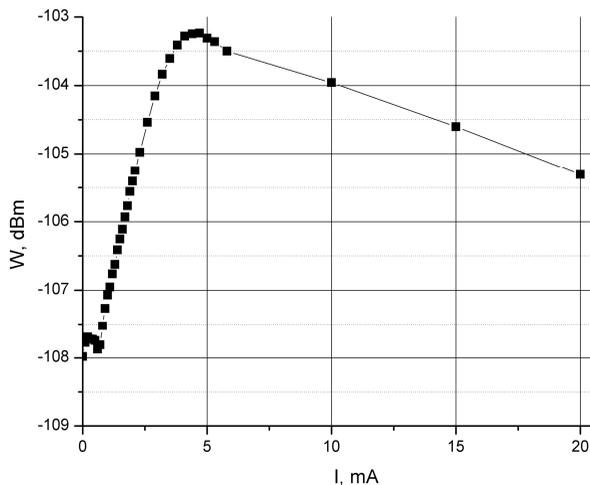


Рис. 5. Генерируемая мощность в зависимости от тока активной зоны транзистора

Заключение

Результаты НИР реализованы в рамках диссертационной работы автора. В настоящее время проводится серия экспериментов с макетом радиометрической системы, уточняется рабочая область зоны активной генерации транзистора.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Филатов А.В.* Радиометрические системы нулевого метода измерений // А.В. Филатов. Томск: Том. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. 276 с.
2. *Техническая документация для транзистора BC848.* Режим доступа: [http:// www.TI.com/datasheets/BC484.pdf](http://www.TI.com/datasheets/BC484.pdf)

**ИНТЕГРИРОВАННЫЕ
ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ**

*Председатель – Катаев М.Ю., профессор каф. АСУ, д.т.н.,
зам. председателя – Бойченко И.В., доцент каф. АСУ, к.т.н.*

**ОТОБРАЖЕНИЕ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ
О ГАЗОВОМ СОСТАВЕ АТМОСФЕРЫ
В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ**

М.А. Ашиток, Н.О. Губанова, студенты

*Научный руководитель М.Ю. Катаев, проф. каф. АСУ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. АСУ*

В настоящее время наиболее актуальна проблема загрязнения атмосферы, человечество может предотвратить многие экологические катастрофы, если будем обладать своевременной и точной информацией по выбросу вредных веществ и содержанию газов.

Для мониторинга парниковых газов 23 января 2009 г. состоялся запуск спутника ИВУКИ агентством JAXA, данные которого используются для отслеживания экологической ситуации в мире.

После первичной обработки полученная со спутника информация представляет набор файлов в виде текстовых таблиц форматом HDF. При этом процесс работы с такой информацией очень сложен для зрительного восприятия человеком и анализа полученных результатов.

Для решения данной задачи была выбрана открытая геоинформационная система Quantum GIS 1.6.0 – Сариаро, благодаря удобному интерфейсу и возможности самостоятельного написания модулей, возможности динамически отслеживать колебания состава воздуха. Система имеет связку ритон – С++. Данная система может графически реализовать плотность распределения газов, в частности углекислого газа и метана. Интересно наглядно показать связь между конкретными земными объектами и содержанием газов.

В данной статье нами будет представлена наглядная визуализация использования спутниковых данных. Были освоены компоненты Quantum GIS 1.6.0 – Сариаро.

Главной идеей является организация многофункционального приложения, адаптация ГИС к поставленной цели. Необходимость хранить большие объемы данных со спутника привела к использованию суперкомпьютеров разработчиками. Система Quantum GIS позволяет обрабатывать полученные данные на простом ПК.

1. Quantum GIS (QGIS) – это кроссплатформенная геоинформационная система (ГИС). Поддерживает векторные и растровые форматы, включая пространственные таблицы, хранящиеся в базах PostgreSQL с использованием PostGIS, распространенные векторные ГИС-форматы, такие как Shapefiles, и растровые изображения с гео-данными (TIFF, PNG и GEOTIFF). Доступно множество плагинов для динамического расширения функциональных возможностей. Посредством специального плагина обеспечивается возможность просмотра слоев GRASS (GRASS layers) – как векторных, так и растровых. При этом слои GRASS можно редактировать в QGIS.

2. Полезной функцией данной программы являются просмотр и наложение друг на друга векторных и растровых данных в различных форматах и проекциях без преобразования во внутренний или общий формат.

Колебания различных газов в атмосфере несут важный практический характер, начиная от возможности слежения за утечками природного газа до чисто научных целей.

Следует отметить важность наглядного отображения спутниковых данных для обеспечения эффективности научных исследований, таких как нахождение зависимости между газовым составом атмосферы, типом рельефной местности и наземными объектами. Главной задачей проекта является организация понятной структуры с помощью Quantum GIS, а также наглядная привязка данных к конкретной местности и изображение полученных данных на карте GIS. Решение данной задачи дает возможность своевременного отслеживания аэрозольных загрязнений промышленно-бытового происхождения, прогрессирующего накопления метана, углекислого газа в атмосфере, а также других источников загрязнений; выявления закономерностей распределения и выделения газов на определенной местности на основе сравнения спутниковых данных, полученных за различные периоды времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://citkit.ru/package/qgis/>
2. <http://qgis.org/>

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ТОЧНОСТЬ НАХОЖДЕНИЯ ЦЕНТРА МАСС ФИГУРЫ ЧЕЛОВЕКА НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Я.А. Хамаганов, аспирант каф. АСУ

Научный руководитель М.Ю. Катаев, проф., д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, ФСУ, khamaganov.y@gmail.com

Основной характеристикой анализа двигательной активности человека по последовательности изображений является центр масс. Его перемещение во времени позволяет анализировать направление движения (по отношению к плоскости съемки), длину шага, скорость движения человека.

Определение центра масс в разрабатываемой системе

Центр масс – это геометрическая точка, характеризующая движение тела или системы частиц как целого. Для нахождения центра масс на изображении в разрабатываемой автором программной системе используется следующая методика: входными данными системы является видеоизображение (входной видеопоток или записанный ранее видеофайл); поступающий видеоряд раскладывается на последовательность кадров (статических изображений) с определенным шагом (например, каждые 0,5 с); затем полученные изображения бинаризируются методом сравнения текущего кадра с фоном (изображением без человека, сделанным заранее); полученные бинарные изображения фильтруются; затем выделяется прямоугольная область, содержащая в себе фигуру человека (границы, за пределы которых фигура на изображении не выходит), и далее на каждом изображении последовательности в пределах области границ фигуры выделяется центр масс фигуры человека по формулам:

$$I_x = \frac{\sum_i \sum_j x_i I(x_i, y_j)}{\sum_i \sum_j I(x_i, y_j)}, \quad I_y = \frac{\sum_i \sum_j y_j I(x_i, y_j)}{\sum_i \sum_j I(x_i, y_j)},$$

$$M = \sqrt{I_x^2 + I_y^2},$$

где I_x и I_y – координаты центра масс человека; M – центр масс; $I(x_i, y_j)$ – цвет пикселя (1 – если черный, 0 – если белый).

Количественные параметры движения человека

Для анализа движения человека, а в частности движения центра масс фигуры человека, требуется количественный параметр, и авторы в качестве такого параметра приняли тангенс угла наклона прямой, проведенной из нижнего левого угла области, ограничивающей фигуру человека, через вычисленный центр масс.

Данный подход является устойчивым к помехам на изображении по отношению к другим подходам. Также выявлены следующие закономерности: функция движения (рис. 1) достигает максимально-минимальных значений при сведенных и максимально разведенных ногах (в начале и конце шага). По полученным данным не составляет труда вычислить длительность полного шага, а при известных начальных данных можно вычислить длительность шага каждой ноги, можно оценить скорость движения человека (количество шагов в единицу времени). На рис. 1 изображены примеры расчетов, подсчитана длительность шага по двум вариантам: из состояния, когда ноги сведены вместе, и из состояния, когда ноги максимально расставлены.

Шаг 1: 13 кадров = 0,52 сек.
Шаг 2: 13 кадров = 0,52 сек.
Шаг 3: 14 кадров = 0,56 сек.
Шаг 4: 12 кадров = 0,48 сек.

Шаг 1: 13 кадров = 0,52 сек.
Шаг 2: 13 кадров = 0,52 сек.
Шаг 3: 14 кадров = 0,56 сек.
Шаг 4: 13 кадров = 0,52 сек.
Шаг 5: 11 кадров = 0,44 сек.

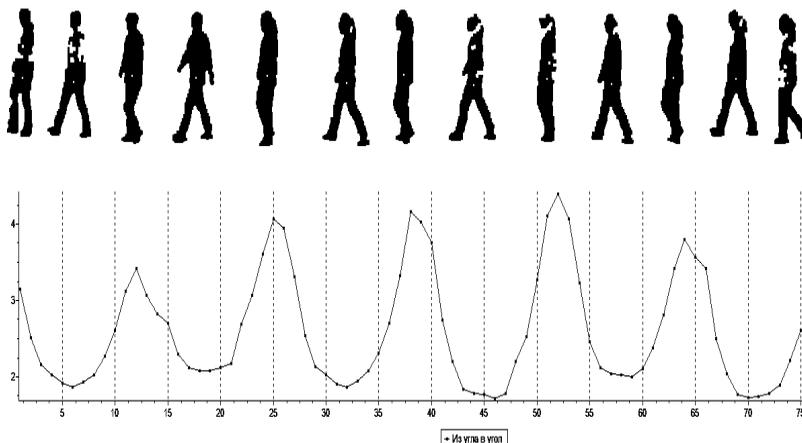


Рис. 1. Расчет количественных характеристик движения человека

Теперь рассмотрим факторы, влияющие на точность нахождения центра масс фигуры человека на изображении. В первую очередь это качество бинаризации и последующей фильтрации. Помехи, получаемые при бинаризации изображения, могут существенно повлиять на точность определения центра масс. На рис. 2 изображены последствия некачественной бинаризации, а именно деформированный контур фигуры человека (разрывы и отсутствие части фигуры, лишние элементы). Разнообразные условия съемки требуют того, чтобы алгоритм, применяемый нами, отслеживал все возможные погрешности, которые могут возникать, и максимально эффективно их устранял.

Понятно, что мелкие шумы (области на изображении, расположенные близко к фигуре человека, которые могут быть неверно удаленным фоном или даже частью фигуры) на изображении могут дать неправильный расчет центра масс. Поэтому очень важна качественная фильтрация изображения, т.к. помехи фильтрации влияют на правильность расчета центра масс.

На рис. 2 изображено влияние погрешности фильтрации на расчет центра масс. Из рисунка видно, что отличие составляет 3% в величине центра масс.

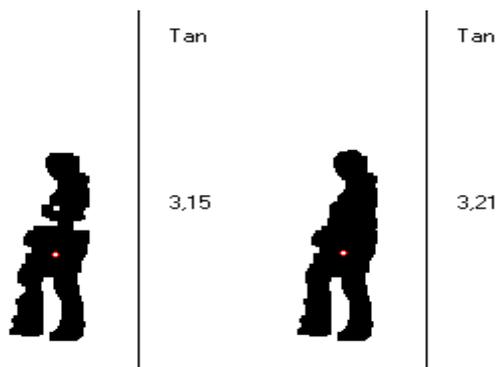


Рис. 2. Влияние помех фильтрации на расчет центра масс

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод, что на правильность расчета центра масс может повлиять качество изображения (неоднородность фона, освещения, контрастность) и качество предварительной обработки изображения (бинаризация и фильтрация).

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Д.М. Кривенцов

Научный руководитель М.Ю. Катаев, проф., д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. АСУ, necris@inbox.ru

В настоящее время имитационное моделирование остаётся общепризнанным методом для исследований в различных областях науки, производства, бизнеса и т.д.

На основе имитационной модели можно построить самые точные и действенные методы анализа и прогнозирования показателей эффективности бизнес-процессов.

Для дальнейшего рассмотрения методики имитационного моделирования выделим четыре главные категории бизнес-процессов:

- процессы, связанные с работой над проектом;
- производственные процессы;
- распределительные процессы;
- процессы обслуживания клиентов.

Такая классификация, разумеется, не означает, что все бизнес-процессы четко попадают в одну из этих категорий. Например, обслуживание клиентов может включать в себя реализацию как функций приема заказов, так и функций их выполнения. В этом случае прием заказов является процессом обслуживания клиентов, а выполнение заказов – производственным процессом.

За последние годы был разработан целый ряд новых программных инструментов, непосредственно предназначенных для моделирования бизнес-процессов. В большинстве этих продуктов бизнес-процессы описываются с использованием графических символов или объектов. Отдельные функции процесса изображаются в виде последовательности прямоугольников и стрелок. Специальные характеристики каждого процесса или функции могут быть затем отображены как атрибуты процесса.

Многие из таких программных инструментов позволяют также проводить некоторый анализ, глубина которого зависит от степени сложности методологии, лежащей в основе программы. Программные инструменты имитационного моделирования бизнес-процессов можно разбить на три категории:

1) Инструментарий имитационного моделирования, основанного на потоковых диаграммах. Подобный – самый простой – инструментарий построения потоковых диаграмм помогает описывать выполняемые функции и определять их последовательность. Модели, основанные на потоковых диаграммах, не зависят от методологии и наиболее просты в изучении. К сожалению, следствием легкости использования является ограниченность возможностей моделирования и анализа. Примерами инструментария имитационного моделирования подобного рода служат «Process Charter» и «Ortima».

2) Инструментарий динамического моделирования. На следующем уровне располагаются программные продукты аналогового моделирования, которые позволяют отображать динамику системы. Модели, созданные подобными продуктами, состоят из таких специфических для выбранной методологии логических структур, как уровни, стеки, потоки, преобразователи и соединители. Примеры: «ithink» и «PowerSim».

3) Инструментарий дискретно-событийного имитационного моделирования. Наиболее развитым и мощным инструментарием имитаци-

онного моделирования бизнес-процессов являются программные продукты дискретно-событийного моделирования. Эти инструменты поддерживают моделирование потока объектов (продуктов) и предоставляют возможности анимации, что позволяет пользователю производить наблюдение за движением в системе потоковых объектов. Некоторые из подобных технологий обеспечивают даже возможности объектно-ориентированного моделирования, упрощающего разработку больших моделей бизнес-процессов. Примеры: «ServiceModel» и «SIMPROCESS».

Также можно поделить на две группы существующие языки моделирования:

1) методо-ориентированные языки, поддерживающие определенный класс формализованных или алгоритмических описаний;

2) проблемно-ориентированные языки моделирования – языки моделирования конечного пользователя, позволяющие формулировать задачи моделирования непосредственно на концептуальном уровне. Связь с пользователем в такой системе моделирования на уровне программного интерфейса осуществляется через набор понятий непосредственно из предметной области исследований. Для этого в проблемно-ориентированные системы моделирования включаются абстрактные элементы, языковые конструкции и наборы понятий, взятые непосредственно из предметной области исследований. Примерами таких решений могут служить системы моделирования:

– «Simular», «Simflex» – управление материальными потоками в производственной системе;

– «MAST» – моделирование гибких производственных систем (применяется блочная концепция структуризации);

– «TOMAS» – технологическая подготовка производственных систем (используемые формальные схемы – автоматы);

– «SIRE» – календарное планирование производственных процессов (сети с очередями);

– «COMNET» – телекоммуникации;

– «MEDMODEL» – медицинское обслуживание.

За годы становления технологии имитационного моделирования наблюдалось большое разнообразие специализированных языков моделирования. В известном в 80-е годы обзоре Киндлера упоминалось более 500 языков и систем моделирования.

В статье рассматриваются особенности основных подходов к имитационному моделированию экономических процессов. В заключение рассматриваются их основные плюсы и минусы, а также выдвигаются идеи по способу применения и модернизации наиболее предпочтительных концепций.

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ЛИЦА НА ИЗОБРАЖЕНИИ

*М.С. Кузьмин, аспирант Института оптики атмосферы
г. Томск, Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАМН,
mkuzmin0@gmail.com*

Многие направления науки, техники и производства в значительной степени ориентируются на развитие систем, в которых информация носит характер поля (изображения). Одной из самых сложных проблем, связанных с обработкой такого типа информации, на сегодняшний момент являются обработка и анализ изображений. Эта область исследований находит широкое применение в различных областях деятельности: в информатике, робототехнике, экономике и пр. В связи с тем фактом, что за последние несколько десятилетий прорыв в области построения архитектур с использованием компьютерного зрения спровоцировал рост их популярности и применимости, это обуславливает актуальность проблемы распознавания образов на базе таких архитектур.

Задача обнаружения лица на изображении (face detection) часто является «первым шагом», предобработкой в процессе решения задачи «более высокого уровня» (например, узнавания лица, распознавания выражения лица). Однако и сама информация о присутствии и, возможно, количестве лиц на изображении или в видеопотоке может быть полезна для таких приложений, как охранные системы и содержательная индексация базы данных изображений или видеофрагментов [1].

При всём многообразии различных алгоритмов и методов распознавания изображений, типичный метод распознавания состоит из трёх компонент [2]:

1. преобразование исходного изображения в начальное представление;
2. выделение ключевых характеристик;
3. механизм классификации.

Существующие алгоритмы обнаружения лиц можно разбить на две широкие категории. К первой категории относятся методы, отталкивающиеся от опыта человека в распознавании лиц и делающие попытку формализовать и алгоритмизовать этот опыт, построив на его основе автоматическую систему распознавания. Вторая категория опирается на инструментарий распознавания образов, рассматривая задачу обнаружения лица как частный случай задачи распознавания [1].

Методы первой категории – эмпирическое распознавание. Среди методов, делающих попытку использовать принципы, которыми руководствуется головной мозг при решении задачи распознавания, можно

выделить два направления: методы распознавания «сверху–вниз» основанные на знаниях и методы распознавания «снизу–вверх», основанные на особенностях.

Второе семейство методов подходит проблеме с другой стороны, и, не пытаясь в явном виде формализовать процессы, происходящие в человеческом мозге, стараются выявить закономерности и свойства изображения лица неявно, применяя методы математической статистики и машинного обучения. Методы этой категории опираются на инструментарий распознавания образов, рассматривая задачу обнаружения лица как частный случай задачи распознавания. Изображению (или его фрагменту) ставится в соответствие некоторым образом вычисленный вектор признаков, который используется для классификации изображений на два класса – лицо/не лицо [3].

Обычно поиск лиц на изображениях с помощью методов, основанных на построении математической модели изображения лица, заключается в полном переборе всех прямоугольных фрагментов изображения всевозможных размеров и проведения проверки каждого из фрагментов на наличие лица [4].

Поскольку схема полного перебора обладает такими безусловными недостатками, как избыточность и большая вычислительная сложность, авторами применяются различные методы сокращения количества рассматриваемых фрагментов [1].

Сравнение методов разных категорий – достаточно сложная, нетривиальная задача. Объективно сравнить методы из разных категорий практически невозможно, так как в большинстве случаев опираться приходится лишь на данные, предоставленные самими авторами. Однако можно выделить недостатки методов обеих категорий.

Среди основных недостатков методов первой категории можно выделить:

1. процессы, происходящие в мозге, недостаточно изучены, и те эмпирические знания о человеческом лице, которые доступны исследователям на «сознательном уровне», далеко не исчерпывают инструментарий, используемый мозгом «подсознательно»;

2. трудно эффективно перевести неформальный человеческий опыт и знания в набор формальных правил.

Существующие проблемы для методов второй категории [1]:

1. зависимость от ориентации и масштаба лица;
2. неявный способ определения признаков (может стать причиной ложных обнаружений);

3. высокая вычислительная сложность некоторых методов препятствует использованию этих методов в системах реального времени.

Учитывая вышесказанное, на сегодня построение универсального метода, который в то же время обеспечил бы высокий уровень точно-

сти при отсутствии ограничений, не представляется возможным. Выбор того или иного метода зависит от конкретных условий задачи.

Среди условий, влияющих на выбор того или иного подхода к задаче обнаружения (а затем и распознавания) лица на изображении, можно выделить следующие:

1. предполагаемое разнообразие лиц;
2. ориентация лица на изображении (наклон);
3. цветное или черно-белое;
4. масштаб, разрешение и качество;
5. условия освещения;
6. фон.

Несомненно, важным условием является и область применения того или иного метода.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вежнев В., Дегтярева А.* Обнаружение и локализация лица на изображении. Режим доступа: <http://cgm.computergraphics.ru/content/view/40>.

2. *Брилюк Д., Старовойтов В.В.* Распознавание человека по изображению лица и нейросетевые методы // Институт технической кибернетики Национальной академии наук Беларуси. Минск, 2001.

3. *Hjelmas E., Low B.K.* Face detection: A survey // *Computer Vision and Image Understanding*. 2001. № 83. С. 236–274.

4. *Rowley H.A., Baluja S., Kanade T.* Neural network-based face detection // *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* Сер. 20. 1998. Jan. С. 23–38.

ОТКРЫТАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЯЮЩЕЙ КОМПАНИИ В РАМКАХ ПАРАДИГМЫ СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННОЙ АРХИТЕКТУРЫ

А.Е. Лапин, А.А. Кандыбаев, студенты

Научный руководитель И.В. Бойченко, доцент каф. АСУ, к.т.н.

г. Томск, ТУСУР, ФСУ, каф. АСУ, karandash8@yandex.ru

В настоящее время в различных информационных системах имеются такие проблемы, как «лоскутная автоматизация», локальный монополизм разработчиков ПО, высокая зависимость функционирования рабочего места от программно-аппаратной платформы, на которой оно развернуто. В частности, в сфере ЖКХ присутствует еще одна проблема – невозможность получения актуальной информации о деятельности управляющей компании как органами муниципального управления, так и гражданами – клиентами управляющих компаний.

Цель: создать программный комплекс, предназначенный для автоматизации деятельности нескольких управляющих компаний и органов муниципального управления в рамках парадигмы сервис-ориентированной архитектуры, обеспечивающий прозрачность деятельности управляющей компании для ее непосредственных клиентов и контролирующих структур.

Имеющиеся результаты:

1. исследованы основные бизнес-процессы, протекающие в типичных УК и подлежащие автоматизации (составлено ТЗ и частные ТЗ на разработку отдельных модулей системы);

2. подготовлены рабочая среда и программное окружение (установлено и изучено программное обеспечение, необходимое для процесса разработки (MySQL, Apache Tomcat, Mule ESB); создан сайт разработчиков с новостями проекта, возможностью обсуждения и накопления полученных знаний всеми членами проектной группы; получена лицензия на использование системы управления проектами «Atlassian JIRA»);

3. реализована связка «СУБД – Mule ESB(шина ESB) – Tomcat (сервер сервлетов)».

Сервис-ориентированная архитектура больше всего подходит для решения поставленной задачи. Mule является отличной реализацией ESB. Распределенность системы обеспечит наивысшую степень ее устойчивости.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Dossot D., D'emic J.* Mule in Action // Printed in the United States of America.
2. *Хон Г., Вульф Б.* Шаблоны интеграции корпоративных сетей. М.; Санкт-Петербург; Киев. 2007.
3. Tomcat. URL: <http://tomcat.apache.org/>
4. Mule. URL: www.mulesoft.org/

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОГО КОНТРОЛЛЕРА В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

*Р.Р. Казиров, ст. преподаватель каф. ИВТ ИИТК СибГАУ,
Э.Р. Набеева, студентка, А.И. Серко, инженер
г. Красноярск, СибГАУ, alia90@mail.ru*

Одна из отличительных черт современного мегаполиса – транспортная проблема. Ее возникновение связывают с несоответствием

роста абсолютной численности единиц автомобильной техники и увеличением пропускной способности автомобильных путепроводов. Поэтому возникает необходимость в оптимизации в первую очередь уже существующих систем, регулирования транспортных потоков. Интересным объектом для исследовательских работ в этом направлении является светофорное регулирование. В настоящее время алгоритмы включения сигналов светофора на перекрестке определяются транспортной загруженностью каждого направления, но учитывают при этом средние величины плотности потока (трафика), определенные эмпирически. Между тем трафик не является статической величиной, носит случайный характер и не поддается прогнозированию. Поэтому имеет смысл разработка системы реального времени (СРВ), позволяющей оперативно реагировать на изменение дорожной ситуации путем увеличения либо уменьшения продолжительности горения запрещающих и разрешающих сигналов светофора. Это позволит увеличить пропускную способность в приоритетном на данный момент направлении (долгий зеленый свет).

Рассмотрим простейший случай (таблица). Предположим, существует два взаимоисключающих направления: «А» и «Б». Алгоритм для регулирования длительности сигналов светофора может выглядеть следующим образом:

1. с помощью оптических сенсоров фиксируются значения трафиков по направлениям «А» и «Б»;
2. четкие значения трафиков преобразуются в нечеткие значения трех уровней: «высокий трафик», «средний трафик», «низкий трафик»;
3. нечеткие данные поступают в сравнивающее логическое устройство, в котором происходит сравнение и формируется нечеткий сигнал управления в соответствии с таблицей;
4. нечеткие сигналы управления преобразуются в четкие выходные величины (продолжительность запрещающего и разрешающего сигналов светофора по разным направлениям).

Алгоритмы сравнения нечетких сигналов

«Б» \ «А»	Высокий трафик	Средний трафик	Низкий трафик
Высокий трафик	Одинаковая интенсивность	«А» продолжительнее	«А» значительно продолжительнее
Средний трафик	«Б» продолжительнее	Одинаковая интенсивность	«А» продолжительнее
Низкий трафик	«Б» значительно продолжительнее	«Б» продолжительнее	Одинаковая интенсивность

Число транспортных потоков и число дискретных уровней плотности может быть увеличено при необходимости. Применение нечетко-логического контроллера (достаточно робастной системы) позволит производить переключение режимов работы всей системы автоматического регулирования плавно, без резких скачков и только в том случае, когда в этом действительно возникает необходимость.

Данный алгоритм управления позволит избежать ситуации, когда при возникновении пробки на оживленном направлении светофорное регулирование усугубляет ситуацию и способствует увеличению размеров затора. Система, реализующая описанный выше алгоритм, оперативно отреагирует на изменение дорожной ситуации и автоматически перераспределит пропускные способности направлений. При рассасывании затора такая система сама вернется в обыкновенный режим функционирования. Таким образом, необходимость в человеке-регулирующем в данной ситуации отпадает.

Заметим, что эксперименты по внедрению интеллектуальных систем дорожного регулирования проводятся в России с 2009 г., но до настоящего времени экономически целесообразных систем получить так и не удалось. Применение нечетко логического регулирования существенно снижает стоимость таких систем, что позволит приступить к внедрению первых САУ дорожного регулирования в крупных городах Российской Федерации начиная с 2012 г.

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА

П.А. Пяк, аспирант

*Научный руководитель М.Ю. Катаев, профессор каф. АСУ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. АСУ, irvis48@gmail.com*

Работа любого современного предприятия не может обходиться без постоянного создания и обработки различных документов. Эти документы можно классифицировать по форме хранения на два основных типа: бумажные и электронные. Первая форма хранения имеет значительные недостатки при организации поиска необходимых документов, а также в скорости передачи этих документов от одного сотрудника к другому. Кроме того, хранение документов в бумажном виде сопряжено с постоянной потерей части документов, в результате чего сотрудники вынуждены тратить часть своего рабочего времени на поиск утраченной информации. Поэтому сейчас все большее число предприятий хранит свою информацию в виде электронных документов. Однако электронными документами также необходимо управлять,

и управлять эффективно. Эта потребность привела к созданию систем электронного документооборота, решающих задачи формирования, поиска, хранения и использования электронных документов, а также осуществляющих контроль исполнения.

В рамках работы над проектом по разработке системы бизнес-планирования и управления предприятием «Парад-М», одним из основных модулей которой является система электронного документооборота и мониторинга бизнес-процессов, был произведен обзор функциональных возможностей и принципов работы существующих на российском рынке систем электронного документооборота. Данные системы можно условно разделить на следующие группы:

- Простые СЭД. Это системы, реализующие базовый набор функционала систем электронного документооборота – создание, хранение, поиск документов и организацию доступа к ним. Основной концепцией данных систем можно считать максимальное приближение работы с электронными документами к привычной работе с их бумажными аналогами. Создается централизованное хранилище электронных документов, система управляет этим хранилищем и организует доступ к документам. Чаще всего хранящиеся документы систематизируются посредством присвоения каждому документу различных атрибутов. Примером такой системы может служить система Effect Office, представленная в двух вариантах поставки – ориентированная на предприятия малого и среднего бизнеса и Enterprise версия, ориентированная на крупные предприятия.

- Специализированные СЭД. В отличие от систем первого типа, которые позиционируются как универсальные (т.е. теоретически подходящие для любого предприятия), данные системы ориентированы на отдельные отрасли производства или типы предприятий. В их основу положены не только общие стандарты делопроизводства, но также учитываются различные отраслевые стандарты. Примером такой системы может служить система TDMS. TDMS (Technical Data Management System) – это система, предназначенная для управления информационными потоками и электронной документацией проектных, конструкторских, производственных организаций и любых других предприятий, в работе которых используются технические данные и создаваемые на их основе документы: чертежи, планы, схемы, спецификации, ведомости и т.п.

- СЭД, ориентированные на бизнес-процессы. Это системы, в основу которых положен процессный подход к управлению предприятием. Данные системы часто включают в себя либо частично реализуют BPM (Business Process Management) систему. Также данные системы решают задачи маршрутизации заданий и работ (технология

Workflow). Большинство таких систем имеют встроенные модули расчета KPI (ключевые показатели эффективности работы предприятия), однако данные элементы реализуются в некоторой изоляции друг от друга, и, например, нельзя проследить прямой связи между значениями KPI и различными параметрами бизнес-процессов. К данным системам можно отнести такие продукты, как DocsVision, Elma, FossDoc и др.

- Корпоративные СЭД. К данной группе отнесем, помимо собственно корпоративных систем, также системы управления содержимым (CMS) и СЭД, являющиеся составными частями различных ERP-систем. Все эти системы ориентированы на крупные предприятия и корпорации и внедряются как общекорпоративные технологии. Чаще всего такие системы управляют всей информацией, производимой предприятием. Системы данного типа обеспечивают создание содержимого, доступ и управление содержимым, доставку содержимого (вплоть до уровня разделов документов и объектов для их последующего повторного использования и компиляции). Доступность информации не в виде документов, а в виде объектов меньшего размера облегчает процесс обмена информацией между приложениями. Стоит отметить, что такие системы могут быть процессно-ориентированными. Сюда отнесем такие системы, как Documentum, Oracle Context и др.

- Системы управления информацией (порталы). Такие системы обеспечивают управление информацией предприятия через Internet/ intranet/ extranet.

Несмотря на наличие широкого спектра различных решений в области организации электронного документооборота и управления предприятиями, на настоящий момент практически отсутствуют системы, реализующие единую технологию планирования управления предприятием, связывающей бизнес-процессы и СМК. В большинстве систем СЭД, ориентированных на бизнес-процессы, модули управления бизнес-процессами и модули управления показателями являются почти независимыми друг от друга, что не позволяет использовать всех возможностей теории процессного управления и самих бизнес-процессов. Создание системы с четкой взаимосвязью между бизнес-процессами предприятия и СМК, а также мониторинга состояния предприятия и системы управления электронным документооборотом, является основной целью разрабатываемой системы «Парад-М».

В статье более подробно рассмотрены СЭД, ориентированные на бизнес-процессы, приведены краткие обзоры возможностей некоторых систем СЭД, которые упоминались выше, а также рассмотрены основные особенности электронного документооборота в системе «Парад-М».

ГРАФИЧЕСКИЕ ЯЗЫКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Р.И. Уколов, аспирант

М.Ю. Катаев, проф. каф. АСУ, д.т.н.

г. Томск, ТУСУР, ФСУ, каф. АСУ, nth11@mail.ru

В настоящее время построение процессно-ориентированной системы управления интересует практически всех руководителей развивающихся компаний независимо от их масштаба и отрасли бизнеса. При внедрении на предприятиях процессного менеджмента ключевой задачей является описание бизнес-процессов. Не сделав их корректного описания, бессмысленно переходить к следующим стадиям совершенствования деятельности предприятия, в частности, к совершенствованию организационной и финансовой структуры, внедрению эффективной автоматизированной информационной системы.

Следующим необходимым условием корректного описания системы бизнес – процессов предприятия является методически правильный выбор трактовки понятий «процесс» и «бизнес-процесс» при существующем сегодня их многообразии и неоднозначности. Поэтому в контексте парадигмы процессно-ориентированного управления понятие «бизнес-процесс» должно объединять две сущности: объект управления и управитель.

Третьим «китом» по причинно-следственной цепи корректного описания системы бизнес-процессов предприятия является собственно язык (нотация) графического описания (визуального представления) бизнес-процессов.

Разумеется, при описании бизнес-процессов предприятия необходимо придерживаться определенных правил (определенным стандартам), в противном случае созданное описание невозможно будет использовать. Можно выделить следующие методологии моделирования: IDEF0, BPMN, TML (ЯМТ).

IDEF0 – методология функционального моделирования и графическая нотация, предназначенная для формализации и описания бизнес-процессов. Данная методология является развитием языка моделирования SADT.

BPMN – графическая нотация для моделирования бизнес-процессов, которая была разработана Business Process Management Initiative (BPMI) и поддерживается Object Management Group. BPMN не определяет формата файла, в котором можно сохранять описание и которым можно обмениваться, однако уже есть как минимум одна спецификация, описывающая этот формат, – это XPDЛ. XPDЛ позволяет хранить не только логику процесса, но и его графическое BPMN-представление.

TML (ЯМТ) – графическая нотация моделирования бизнес-процессов, позволяющая описать бизнес-процессы любой степени подробности. Семантической основой TML является так называемое правило «четырёх сторон», которое продекларировано в методике структурного анализа и проектирования SADT.

В статье рассматриваются особенности методологий IDEF0, BPMN и TML, а также спецификация XPDL. В заключение рассматриваются их основные плюсы и минусы, а также выдвигаются свои идеи по способу применения и модернизации предпочитаемой нотации.

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ СПУТНИКОВЫХ СИГНАЛОВ

А.В. Зиновьев, студент

*Научный руководитель М.Ю. Катаев, проф., д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. АСУ, Kelast90@yahoo.com*

Во время всеобщих разговоров о глобальном потеплении сложно недооценить задачу изучения атмосферы и прогнозирования в области изменения климата. Повышение температуры Земли, связывают с резким увеличением количества парниковых газов в атмосфере, и этот процесс необходимо постоянно контролировать. Из-за урбанизации и развития промышленности за последние 100 лет выброс парниковых газов в атмосферу значительно увеличился. Единственным способом контроля содержания и поведения газов в планетарном масштабе является спутниковый. Специально для отслеживания парниковых газов японским космическим агентством (JAXA) был разработан и запущен 23 января 2009 г. спутник GOSAT (Ibuki). Ibuki является первым в мире спутником, чьей задачей является мониторинг парниковых газов. «Ibuki» оборудован инфракрасными датчиками, которые улавливают отраженный от поверхности Земли и тел атмосферы солнечный свет, что позволяет определить плотность углекислого газа и метана в атмосфере. Для получения необходимой ученым информации, при обработке данных, улавливаемых приборами, необходимо учитывать множество факторов. И одним из факторов, не учитываемых при обработке спутниковых сигналов, является подстилающая поверхность.

Целью работы является обработка спутниковых сигналов с учетом влияния на них подстилающей поверхности и сравнение полученных результатов с результатами обработки спутниковых сигналов без учета подстилающей поверхности. Подстилающая поверхность тоже в свою очередь состоит из многих частей – факторов, влияющих на ее роль в отражении солнечного света. Из них были выделены и учтены следующие: рельеф земной поверхности, отражательная способность ти-

пов земной поверхности. Информация об этих факторах была взята из следующих свободно распространяемых баз данных: SRTM(Shuttle radar topographic mission), GLC2000(Global Land Cover 2000), ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer).

В результате разработан продукт, с помощью которого можно отслеживать и анализировать влияние подстилающей поверхности, обработку спутниковых сигналов.

ВОЗМОЖНОСТИ СЕТТОРВОХ

А.В. Сулейманов, аспирант

*Научный руководитель М.Ю. Катаев, проф. каф. АСУ, д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. АСУ, piret@sibmail.com*

В настоящее время осуществляется переход с аналогового на цифровое телевидение в связи с тем, что цифровое телевидение имеет ряд преимуществ по сравнению с аналоговым, среди которых:

- повышение помехоустойчивости трактов передачи и записи телевизионных сигналов;
- уменьшение мощности передатчиков;
- существенное увеличение числа ТВ-программ, передаваемых в том же частотном диапазоне;
- повышение качества изображения и звука ТВ-приёмников;
- создание ТВ-систем с новыми стандартами разложения изображения (телевидение высокой чёткости);
- расширение функциональных возможностей студийной аппаратуры;
- передача в ТВ-сигнале различной дополнительной информации;
- создание интерактивных ТВ-систем, при пользовании которыми зритель получает возможность воздействовать на передаваемую программу (например, видео по запросу);
- выбор языка и субтитров.

В России планируется начать переход на цифровое телевидение с 2012 г. и полностью завершить этот переход в 2020 г.

В рамках этого перехода необходимо будет использовать ресиверы цифрового телевидения – устройства, которые принимают, декодируют, обрабатывают сигналы цифрового телевидения и преобразуют их в стандартный ПЦТС (полный цветной телевизионный сигнал). В статье рассмотрены возможности ресивера STV по обработке цифровых сигналов.

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МОДЕЛИРОВАНИИ И ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

А.К. Лукьянов

Научный руководитель М.Ю. Катаев, проф., д.т.н.,

г. Томск, ТУСУР, hyena116@mail.ru

В 2009 г. с космодрома Танэгасима был запущен первый в мире космический аппарат, чьей задачей является мониторинг парниковых газов. Спутник GOSAT – это инструментальное средство контроля различными странами положений соглашения о сокращении выбросов в атмосферу газов, способствующих развитию парникового эффекта и тем самым глобальному потеплению. На спутнике установлено в общей сложности семь различных научных приборов.

Очевидна задача разработки программного обеспечения, которое будет заниматься предварительной обработкой, анализом и интерпретацией поступающих со спутника данных. Объем этих данных за один день полета спутника составляет около 10 Гб. Это и является основной целью научно-исследовательской работы – разработка инструментальной системы обработки данных дистанционного зондирования на основе параллельных технологий.

Нашей задачей является написание программы моделирования и обработки сигнала спутника GOSAT с целью восстановления общего содержания газов CO_2 и CH_4 и их высотных профилей концентрации (рис. 1).



Рис. 1. Структура программы

Программа должна обеспечивать реализацию следующих задач.

Прямая задача. Расчёт спутникового сигнала при известной концентрации парниковых газов, аэрозолей, типов поверхности и рельефа в глобальных масштабах Земли и времени в течение года при помощи различных подходов (программ).

Обратная задача. Расчёт общего содержания и высотного профиля концентрации парниковых газов с использованием как модельных, так и реальных спутниковых сигналов при помощи различных методов.

Анализ: а) точности расчета спутникового сигнала; б) погрешности восстановления общего содержания парниковых газов.

Программа должна в режиме моделирования и обработки обладать высокой точностью и скоростью расчета. Для этого программа должна быть реализована на кластере и написана в параллельной парадигме.

Параллельные алгоритмы можно применить для:

1. Чтения информации из баз данных и формирования файлов профиля, необходимых для расчёта спутникового сигнала в каждой заданной точке.

2. Расчёта спутникового сигнала.

3. Анализа верности полученных модельных данных.

Особенностью нашей задачи явилось то, что расчет каждой точки может осуществляться независимо от других точек. Поэтому мы имеем возможность параллельно вести моделирование нескольких точек одновременно, в зависимости от количества вычислительных ядер в системе.

При этом необходимо учитывать, что каждый из трёх видов расчёта должен быть доступен пользователю для выполнения отдельно, поскольку нет необходимости заново считывать информацию для формирования профиля или величины общего содержания, если эта информация уже считана, и файл с данными сформирован, или выполнять анализ, исследуя выделенную пользователем информацию (измеренный сигнал GOSAT, модельный сигнал).

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ВИДЕО ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ ПРИСТАВКИ

А.К. Лукьянов

*Научный руководитель М.Ю. Катаев, проф., д.т.н.,
г. Томск, ТУСУР, huena116@mail.ru*

Семейство MPEG-форматов, состоящее из набора MPEG-2, MPEG-4 и H.264 (AVC), является наиболее распространенным в различных кодеках, и поэтому задача повышения производительности алгоритмов сжатия и декодирования, используемых в этих форматах, остается актуальной. С увеличением разрешения и битрейта цифрового видео (до 1920×1080 с битрейтом до 40 Мбит/с для видео высокого разрешения [1]) применение алгоритмов распараллеливания для обработки цифровой видеoinформации в настоящее время выходит на передний план, позволяя использовать все возможности и преимущества многопроцессорной техники.

Существуют два основных способа распараллеливания процесса декодирования цифровой видеoinформации – меж- и внутрикадровый, каждый из которых обладает своими преимуществами и недостатками.

Недостатком внутрикадрового параллелизма является необходимость полного предварительного восстановления всей сжатой информации, относящейся к кадру, т.к. сам процесс энтропийного декодирования не подразумевает распараллеливания. Помимо этого, для многих стадий, таких как предсказание АС коэффициентов [2], фильтрации изображения с целью устранения блочности, необходимо наличие соседних блоков (левого, верхнего и правого верхнего), что приводит к созданию достаточно сложной схемы синхронизации. Как правило, при наличии нескольких процессоров сначала выполняется энтропийное декодирование нескольких кадров, после чего реконструкция каждого кадра выполняется диагональным методом, когда декодирование очередной строки макроблоков начинается после восстановления правого верхнего соседа первого блока в текущей строке с последующей синхронизацией с верхней строкой.

Еще одной разновидностью внутрикадровых методов является параллелизм на уровне слайсов, когда каждый слайс изображения обрабатывается отдельным потоком. Серьезным недостатком данного метода является высокая зависимость от структуры видеопотока, т.к. зачастую кадры в видеопоследовательности состоят из одного слайса, в этом случае данный метод не дает прироста производительности.

Изображения в MPEG-последовательности подразделяются на два типа: intra (I-кадры), являющиеся опорными, и inter (P- и B-кадры), содержащие разность текущего изображения с предыдущим опорным кадром. Основной проблемой межкадрового распараллеливания является зависимость между intra- и inter-кадрами, т.е. для декодирования P- и B-изображений необходимо предварительно реконструировать соответствующие им опорные кадры.

Нашей задачей является разработка параллельного алгоритма для цифровой телевизионной приставки (set-top-box STB).

При разработке параллельных алгоритмов обработки видео для цифровой телевизионной приставки необходимо учитывать малый объем памяти, доступной во время выполнения расчетов.

Так как использоваться параллельный алгоритм будет только на приставке, количество процессоров которых не известно заранее, то целесообразно разрабатывать алгоритм, рассчитанный на произвольное число процессоров. Хотя понятно, что алгоритм, работающий на фиксированном числе процессоров, имеет преимущества перед алгоритмом, работающим на произвольном числе процессоров.

В статье обсуждаются моменты выбора параллельных алгоритмов и задачи, которые возможно решать с помощью этих алгоритмов на конкретном типе STB.

ЛИТЕРАТУРА

1. Blu-Ray FAQ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.blu-ray.com/faq/>, свободный (дата обращения: 21.10.2009).

2. SMPTE 421M-2006: VC-1 compressed video bitstream format and decoding process. SMPTE, 2006.

ЭКОНОМИКА ИНТЕРНЕТ-УСЛУГ

Е.О. Харичкина, студентка

*Научный руководитель М.Ю. Катаев., проф. каф. АСУ, д.т.н
г. Томск, ТУСУР, каф. АСУ*

В рамках студенческого бизнес-инкубатора ТУСУРа развивается студенческий проект «Автоматизированная система процессно-ориентированного бюджетирования «Парад-М». Целью проекта является разработка программного продукта для сегмента малых предприятий для повышения роли управления.

Нашей основной деятельностью является вывод проекта на рынок. Для этого нами были выбраны различные направления, одним из которых является создание портала.

В общем случае портал – это информационный сетевой ресурс, позволяющий получать сконцентрированную информацию по определенной теме и ее изменять (обрабатывать) путем взаимодействия человека и компьютера. Для бизнеса это хороший инструмент для того, чтобы аккумулировать все ранее созданное в компании, дать этому правильное и полное применение, осознать свои недостатки и преимущества и упростить работу сотрудников посредством работы с одним корпоративным приложением, а не десятком разрозненных информационных систем и источников информации.

Целью создания интранет-портала является:

- повышение уровня управления и поддержки принятия решений за счет организации сбора, консолидации и анализа необходимой информации;

- создание единой базы знаний, включая агрегированную информацию, получение которой требует больших временных и ресурсных затрат;

- сокращение расходов и издержек компании;

- повышение качества работы и обслуживания клиентов компании;

- повышение конкурентоспособности и инвестиционной привлекательности.

Отмеченные выше моменты являются основой статьи и позволят начинающим студенческим проектам правильно сформулировать основные шаги по созданию портала для студенческого проекта.

СЕКЦИЯ 7

ОПТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАНОФОТОНИКА И ОПТОЭЛЕКТРОНИКА

*Председатель – Шارانгович С.Н., проф., зав. каф. СВЧиКР,
к.ф.-м.н.;*
*зам. председателя – Буримов Н.И., зав. УНЛ каф. ЭП НИЧ,
к.т.н.*

КОГЕРЕНТНО-ОПТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАНОКОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРОВ

*Н.А. Дашин, И.С. Ибрагимов, П.А. Чернышев, студенты,
Б.Ф. Ноздреватых; Д.Н. Хатьков, аспиранты каф. СВЧиКР
Научный руководитель Н.Д. Хатьков, доцент каф. СВЧиКР, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, РТФ, sydney@t-sk.ru*

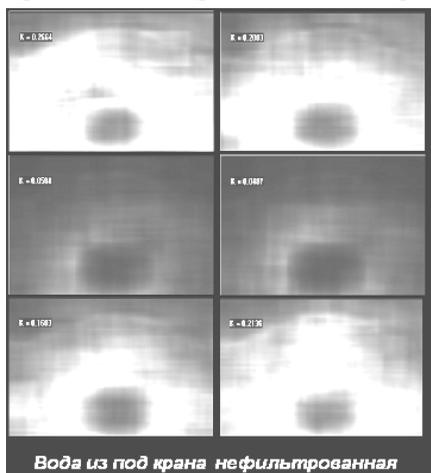
В настоящее время в сложных технологических процессах проводятся измерения качества жидкостей по наличию в них наночастиц. Современные решения довольно громоздки, и анализ выполняется несколько суток. Предлагаемое к использованию портативное оборудование позволяет производить экспресс-анализ за 15–20 мин.

Оборудование предназначено для анализа кинетики изменения свойств конгломератов в суспензиях и нанокolloидных растворах и может быть использовано в научно-исследовательских целях на предприятиях, разрабатывающих технологию изготовления наночастиц, коллоидных растворов, оценки их качества, в медицине, в электронной, химической и пищевой промышленности, в постановке инновационных лабораторных работ в образовании. В основе принципа работы измерительного комплекса лежат современные достижения науки и передовые конструкторские решения с широким применением компьютерной техники.

Хорошо известно, что коллоидные растворы обладают нестабильными свойствами. Нестабильные свойства определяются многими факторами – температурой, плотностью раствора, материалом, количеством и размером частиц, наличием таких внешних воздействий, как вибрация основания, присутствие электромагнитных полей, излуче-

ний. Все эти факторы существенно влияют на равновесное состояние коллоидной среды. Кроме того, представляет определенный интерес вопрос о возможности определения того или иного коллоидного раствора, например относительно какого-либо заданного эталона. Поэтому необходимо выяснить возможности разработанного оборудования и в этой области.

Рис. 1. Сравнительный анализ на соответствие друг другу выходных изображений для питьевой водопроводной воды относительно эталона

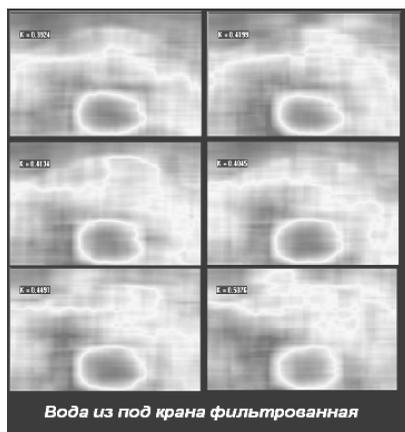


Состав оборудования. Когерентно-оптический анализатор нанокolloидных растворов (КОАКР) содержит набор расширяемых модулей, подключаемых к компьютеру:

- базовый модуль имеет когерентно оптический процессор;
- первый модуль является универсальным генератором;
- второй модуль используется как вибростенд;
- третий модуль-оптический микроскоп с видеокамерой;
- четвертый модуль содержит аккумуляторный блок;
- пятый модуль содержит сетевой источник питания.

С помощью прибора проводился анализ оптических свойств фильтрованной и нефilterованной воды на основе полученных изображений рис. 2, которые он создаёт.

Рис. 2. Результат сравнения изображений фильтрованной с помощью фильтра «Аквафор» питьевой воды из-под крана с нефilterованной той же водой



Как оказалось, фильтр «Аквафор» хорошо осуществляет фильтрацию включений определенной вытянутой формы, охватывает довольно большой по размерам объем – от крупных частиц до очень мелких, но часть включений пропускает, причем они могут быть и крупного размера. Графическое представление данных прибором в таком формате позволяет оценить качество работы и старение фильтра. Этот анализ был проведён для фильтра, который был в эксплуатации более полугода. Поскольку измерения проводились в течение короткого времени (не более 15 мин), то данный прибор может работать в том числе и в составе автоматизированной линии по разливу высокочистой воды с целью выявления наноразмерных механических включений в её составе.

Полученные результаты показывают [1, 2], что используемые коллоидные растворы при тех условиях измерения, которые были установлены, являются нестабильными во времени и постоянно меняются, последовательно переходя из одного состояния в другое в течение короткого промежутка времени – 3 мин. Это касается в том числе растворов и с заранее заданными свойствами. Способность выявлять различные состояния одного и того же коллоидного раствора указывает на высокую чувствительность разработанного метода анализа, что и подтверждается последующими экспериментами для различных коллоидных систем. Это позволяет использовать подобную методику на практике для различимости коллоидных растворов между собой.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ибрагимов И.С.* Анизотропия динамического светорассеяния в пространственных спектрах конгломератов нанокolloидных растворов диоксида кремния и магнетита железа / И.С. Ибрагимов Л.В. Загребин, Р.В. Литвинов и др. // Матер. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2009». Томск, 12–15 мая 2009 г. Ч. 1. Томск, 2009. С. 258–261.
2. *Описание* прибора КОАКР. [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.texnosila.narod.ru/Foton/nanotech/nanoIndex.html/>

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ БРОМИДА МЕДИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ

К.В. Фёдоров, студент, каф. ПМЭ ТПУ,

В.Ф. Фёдоров, с.н.с. ЛКЭ ИОА СО РАН,

Ф.А. Губарев, доцент ТПУ, н.с. ЛКЭ ИОА СО РАН, к.ф.-м.н.

г. Томск, fedorovkv@sibmail.com, gfaddtpu@tpu.ru

Лазеры на парах металлов, в частности лазеры на парах меди и бромида меди, находят применение для решения ряда практических

задач [1]. Для некоторых из них, таких как передача информации, демонстрационные системы, микрообработка материалов или импульсное воздействие на среду (например, в медицине), требуется управление энергией в каждом импульсе генерации. Так, в работе [2] показано, что при термостабилизации активного объема CuVg -лазера и контейнеров с рабочим веществом (бромид меди) возможно управление энергией генерации путем воздействия на электронную компоненту плазмы за счет введения предимпульса или изменения крутизны переднего фронта импульса накачки. Пример управления показан на рис. 1. При таком управлении энерговыход в разряд остается примерно постоянным, а энергия генерации зависит от формы импульса накачки или амплитуды дополнительного импульса, которая задается временным сдвигом или амплитудой управляющих импульсов.

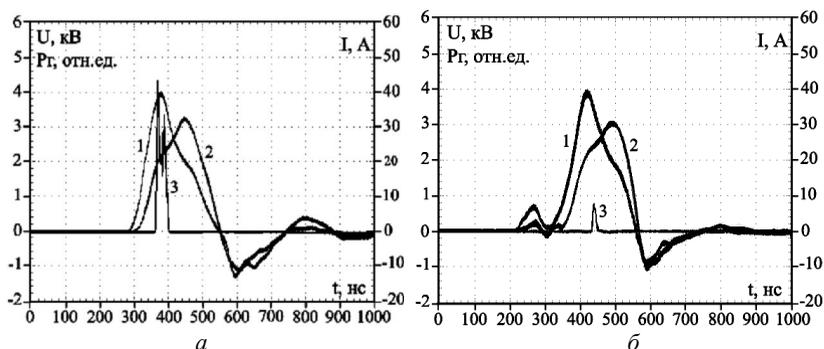


Рис. 1. Осциллограммы импульсов напряжения (1), тока через ГРТ (2) и генерации (3) [2]: *а* – без управления, *б* – для управления введен предимпульс

В настоящей работе нами ставилась задача передачи сигнала звуковой частоты через воздушное пространство, используя возможность управления излучением CuVg -лазера. Управление генерацией осуществлялось путем изменения амплитуды предимпульса.

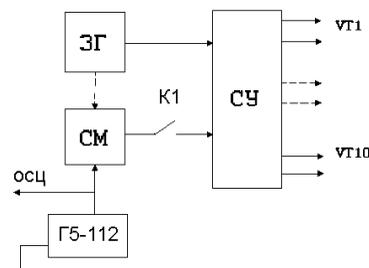
В экспериментах использовался CuVg -лазер мощностью 0,3 Вт, работающий на частоте 15 кГц. Накачка осуществлялась с использованием схемы на основе транзисторных ключей (IGBT-транзисторы типа IRGSP60B120KDP), подробно описанной в работе [2]. Схема формировала импульсы напряжения длительностью 300 нс с фронтом 20–30 нс и амплитудой 3–4 кВ.

Структурная схема формирования сигналов управления для IGBT-транзисторов показана на рис. 2. Схема модуляции СМ формирует дополнительный импульс, который синхронизован с импульсами задающего генератора ЗГ и поступает на схему управления СУ через

ключ К1. Амплитуда дополнительного импульса может изменяться по заданному закону, в частности гармоническому. Причем изменения происходят в противофазе низкочастотному сигналу, т.е. чем больше напряжение на входе СМ, тем меньше амплитуда дополнительного импульса. Низкочастотный сигнал поступает с генератора Г5-112 (в экспериментах частота изменялась в диапазоне 500–2500 Гц).

Итак, при включении ключа К1 на схему управления подается последовательность импульсов с частотой следования, равной частоте работы лазера, промодулированных по амплитуде низкочастотным сигналом. В схеме управления формируется предымпульс, который гасит генерацию лазера в соответствии с амплитудой дополнительного импульса. В результате мы имеем лазерное излучение, промодулированное гармоническим низкочастотным сигналом.

Рис. 2. Схема формирования сигналов управления



Для приема лазерного излучения использовался фотодиод ФД-24К, расположенный в зоне прямой видимости на расстоянии 10 м. Оптическое излучение в этом случае ослаблялось, чтобы фотодиод не входил в насыщение. С помощью используемого фотодиода возможно принимать и отраженный сигнал, например рассеянный от стены. Сигнал с фотодиода усиливался и фильтровался стандартным регулятором тембра, который используется, например, в обычных УНЧ [3]. Регулятор ослаблял сигнал с частотой выше 3 кГц, в том числе и несущую частоту лазера (15 кГц). Сигнал с выхода усилителя подавался на двухканальный осциллограф вместе с управляющим сигналом.

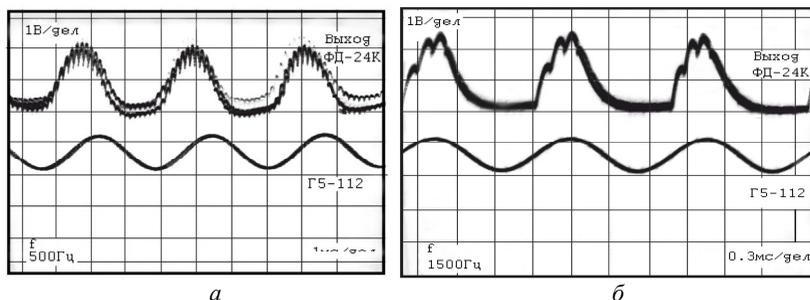


Рис. 3. Осциллограммы сигналов управления и принимаемых сигналов с фотодиода

На рис. 3 приведены осциллограммы принимаемых с помощью фотодиода сигналов при разных модулирующих частотах. Видно, что сигнал содержит одну полуволну, в целом повторяющую по форме задающий сигнал.

Таким образом, продемонстрирована возможность передачи сигналов звуковой частоты (сотни герц – единицы килогерц) с помощью импульсно-периодического лазера на парах бромида меди. Такая система может использоваться для передачи голоса в системах загоризонтной связи. Продолжением работы станет исследование возможности использования оптических сигналов, отраженных от атмосферных объектов. Для этого планируется повысить мощность передатчика до ~5 Вт, а для повышения качества передачи увеличить несущую частоту с 15 до 50–60 кГц.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Евтушенко Г.С., Шиянов Д.В., Губарев Ф.А.* Лазеры на парах металлов с высокими частотами следования импульсов. Томск: Изд-во Том. политех. ун-та, 2010. 276 с.

2. *Губарев Ф.А., Федоров В.Ф., Евтушенко Г.С., Тригуб М.В.* Управление генерацией CuBr-лазера // Изв. Том. политех. ун-та. 2009. Т. 315. № 4. С. 147–151.

3. *Турута Е.Ф.* Предварительные усилители низкой частоты. М.: ДМК пресс, 2008. 176 с.

НЕЛИНЕЙНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ И ИОНИЗАЦИЯ АТОМАРНЫХ И МОЛЕКУЛЯРНЫХ ГАЗОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ

А.А. Филь, ассистент преподавателя, аспирант

г. Томск, ТУСУР, каф. электронные приборы, alexsandr_fil@iao.ru

В настоящей работе обсуждаются результаты экспериментальных исследований механизмов ионизации атомарных (He, Ar, Kr, Xe) и молекулярных (H₂, N₂, O₂, сухой и влажный воздух) газов в сильных полях фемтосекундных (ФС) лазерных импульсов с длинами волн 248 и 744 нм.

Схемы оптико-гальванических (ОГ) и оптико-акустических (ОА) измерений представлены на рис. 1.

Для определения возможного механизма ионизации газов в литературе используется параметр адиабатичности Келдыша [1]:

$$\gamma = \frac{\omega \sqrt{2U_{im}}}{e|E|}, \quad (1)$$

где ω – циклическая частота излучения, U_i – потенциал ионизации атома (молекулы), m и e – масса и заряд электрона соответственно, $|E|$ – напряженность поля.

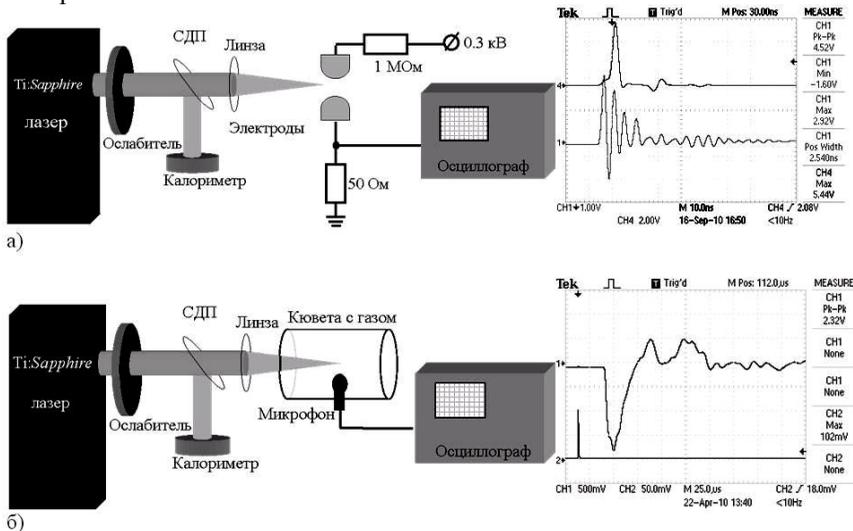


Рис. 1. Схемы ОГ (а) и ОА (б) измерений. Справа приведены характерные формы ОГ и ОА сигналов

Значение $\gamma^2 \gg 1$ соответствует многофотонной ионизации (при относительно большой частоте и малой напряженности поля), при туннельной ионизации $\gamma^2 \ll 1$ (относительно небольшая частота и большая напряженность). В наших экспериментах для максимальных энергий УФ (248 нм/ энергия до 0,3 мДж) и ИК (744 нм / 4 мДж) лазерных импульсов γ принимает следующие значения: γ (248 нм) $\approx 1,5$ и γ (744 нм) $\approx 0,14$.

Образец зависимости ОГ сигнала от интенсивности излучения с длиной волны 744 нм представлен на рис. 2.

Из анализа данных, представленных на рис. 2 видно, что при изменении интенсивности излучения от 5 до 100 ТВт/см² наклоны кривых (Xe – 2,4; Kr – 3,8; Ar – 4,0) уменьшаются (Xe – 0,5; Kr – 1,1; Ar – 1,0). Затем в области от 0,1 до 1 ПВт/см² сначала увеличиваются и затем снова уменьшаются, что связывается с конкуренцией между туннельной ионизацией и резонансным возбуждением в высоколежащие ридберговские состояния [2].

Образец зависимости ОА сигнала от интенсивности излучения с длиной волны 248 нм представлен на рис. 3.

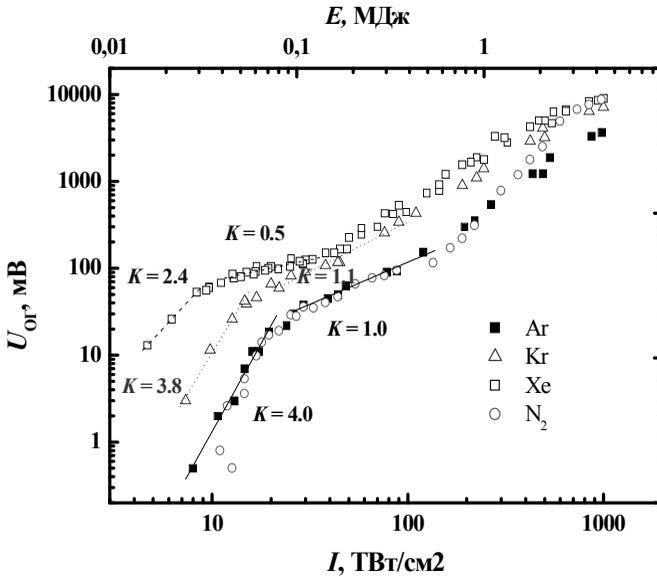


Рис. 2. Амплитуда ОГ сигнала $U_{ог}$ в зависимости от интенсивности ИК (744 нм) излучения I (энергии E). Давление газов $P \approx 3$ мбар

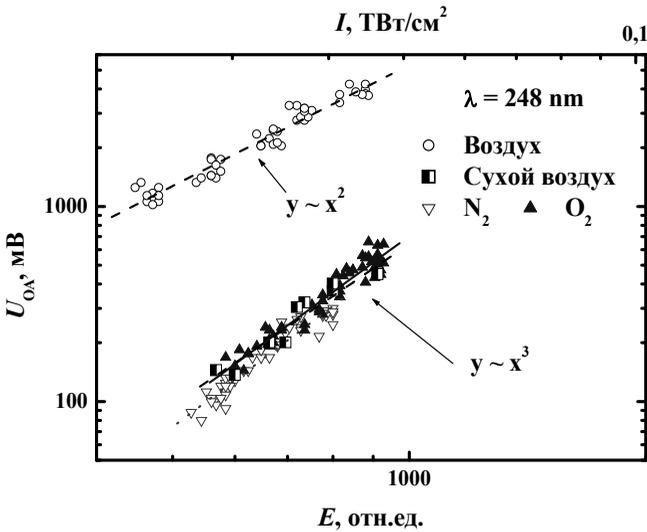


Рис. 3. Амплитуда ОА сигнала в зависимости от энергии (интенсивности) УФ ($\lambda = 248$ нм) лазерных импульсов. Давление газов $P = 1$ бар

Из рис. 3 видно, что водяной пар в составе атмосферного воздуха вносит существенный вклад в поглощение УФ ФС лазерных импульсов с длиной волны 248 нм: амплитуда ОА сигнала, т.е. поглощение водяным паром, в указанном диапазоне интенсивностей излучения на порядок больше, чем для чистых газов (N_2 , O_2) и сухого воздуха. Кроме того, появление водяного пара приводит к изменению наклона зависимости, т.е. 3-фотонный механизм поглощения становится 2-фотонным.

Нелинейное поглощение УФ ФС лазерных импульсов со сравнительно низкой пиковой интенсивностью излучения связывается с процессами многофотонной ионизации атомов и молекул через промежуточные резонансные ридберговские состояния. Нелинейное поглощение сфокусированных ИК ФС лазерных импульсов связывается с туннельной ионизацией атомов и молекул.

Для измерения энергии ФС лазерных импульсов в широком динамическом диапазоне (до 80 дБ) апробирован оптико-акустический калориметр.

Автор выражает благодарность А.А. Ионину, С.И. Кудряшовой, Ю.Н. Пономареву, Л.В. Селезневу, Е.С. Сунчугашевой (ФИАН), Б.А. Тихомирову (ИОА СО РАН) за плодотворное сотрудничество при постановке и проведении экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Делоне Н.Б., Крайнов В.П. Атом в сильном световом поле. М.: Атомиздат, 1978.
2. Zvorykin V.D. et al. // JETP Lett. 2008. №8, P. 10.

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ТЕМНОВОГО ТОКА В КРИСТАЛЛЕ $Bi_{12}TiO_{20}:Fe$

*А.Н. Гребенчуков, П.В. Зуев, Е.А. Пекарский, студенты 3-го курса,
Л.А. Кабанова, аспирант
г. Томск, ТУСУР, каф. ЭП, i_i_iyruk@mail.ru*

Фоточувствительные кристаллы класса силленитов, обладающие и хорошими фоторефрактивными свойствами, являются материалами с широкой запрещенной зоной, высоким удельным сопротивлением и низкой подвижностью носителей зарядов [1]. Благодаря этому они используются в устройствах динамической голографии, в том числе для записи и хранения информации. Существенное влияние на характеристики таких устройств оказывают темновая проводимость кристаллов,

в том числе её характер, и подвижность носителей заряда, определяющие время хранения оптической информации в различных температурных условиях. Авторы [2–4] считают, что перенос заряда в кристаллах силленитов осуществляется путем термостимулированных прыжков по локализованным состояниям с широким энергетическим спектром в запрещенной зоне кристалла. При прыжковом механизме существенное влияние на величину проводимости и ее энергию активации оказывают примеси [3, 5], которая может быть определена из температурных зависимостей темнового тока [2].

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований и численной аппроксимации температурной зависимости темнового тока в легированном железом кристалле титаната висмута ($\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Fe}$) для диапазона температур 110–293 К в условиях приложенного внешнего постоянного электрического поля.

В экспериментах исследовался монокристаллический образец $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Fe}$, имеющий толщину $d = 10$ мм и вырезанный вдоль кристаллографического направления [001]. Кристалл с помощью медного держателя закреплялся на температурном модуле, выполненном из монолитного медного стержня, охлаждаемого с помощью жидкого азота до температуры ~ 110 К. Держатель с кристаллом помещался в вакуумную камеру, где в процессе экспериментов он мог нагреваться естественным образом до комнатной температуры. Внешнее электрическое поле создавалось с помощью нанесенных на грани (001) образца электродов из Al площадью $6 \times 4,5$ мм², к которым прикладывалось постоянное напряжение $U_{\text{кр}} = 425$ В. Данные о температуре кристалла регистрировались с помощью калиброванной термопары медь–константан. Эксперименты проводились в отсутствие внешнего освещения.

Полученная экспериментальная зависимость темнового тока от температуры в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Fe}$ представлена на рис. 1. Как из него следует, величина темнового тока в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Fe}$ увеличивается с ростом температуры, причем наиболее значительное его увеличение наблюдается для диапазона $T = 260\text{--}300$ К. В координатах $\ln(I_d) = f(1/T)$ эта зависимость имеет два прямолинейных участка (рис. 1, б): первый из них имеет место в области температур $T = 110\text{--}260$ К и характеризуется наклоном $\sim 0,01$ эВ, в то время как для второго участка ($T = 260\text{--}300$ К) его крутизна имеет существенно большее значение, составляющее $\sim 0,4$ эВ.

Проведенный анализ показал, что температурная зависимость темнового тока $I_d(T)$ в диапазоне температур $T = 110\text{--}300$ К (сплошные линии на рис. 1) может быть описана биэкспоненциальной функцией следующего вида:

$$I_d(T) = I_{d1} \exp\left(-\frac{E_1}{k_B T}\right) + I_{d2} \exp\left(-\frac{E_2}{k_B T}\right),$$

где k_B – постоянная Больцмана при значениях темновых токов $I_{d1} = 8,85 \cdot 10^{-9}$ А и $I_{d2} = 0,108$ А и величинах энергий активации $E_1 = 0,01$ эВ и $E_2 = 0,395$ эВ.

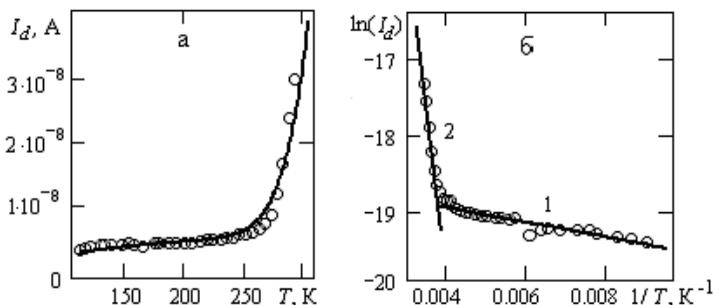


Рис. 1. Экспериментальная и расчетная зависимости темнового тока от температуры (а) и логарифма темнового тока от обратной температуры (б) в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}\text{:Fe}$. Кружки – экспериментальные данные, сплошные линии – расчетные зависимости

Таким образом, в настоящей работе показано, что для легированного железом кристалла титаната висмута кривая изменения темнового тока с температурой имеет два характерных участка с различной скоростью его нарастания. Из проведенной аппроксимации экспериментальной зависимости $I_d(T)$ биэкспоненциальной функцией были найдены значения энергий активации темновой проводимости в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}\text{:Fe}$, при которых она хорошо описывает основные закономерности температурной зависимости темнового тока.

Работа выполнена при поддержке программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)» и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (госконтракт № 02.740.11.0553). Авторы благодарят научного руководителя, М.Г. Кистеневу за постановку задачи и полезные консультации, а также В.В. Поздеева за помощь в создании экспериментальной установки и проведении экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров М.П. Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике / С.И. Степанов, А.В. Хоменко. СПб.: Наука, 1992. 318 с.

2. Авраменко В.П. Прыжковая проводимость монокристаллов германата висмута / В.П. Авраменко, Л.П. Клименко, А.Ю. Кудзин, Г.Х. Соколянский // ФТТ. 1977. Т. 19, вып. 4. С. 1201–1204.

3. Кудзин А.Ю. Влияние легирования ванадием на электрические свойства кристаллов $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ / А.Ю. Кудзин, С.Н. Пляка, Г.Х. Соколянский // ФТТ. 2000. Т. 42, вып. 5. С. 839–843.

4. Пляка С.Н., Соколянский Г.Х. Дрейфовая подвижность фотогенерированных носителей заряда в кристаллах $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ // ФТТ. 1998. Т. 40, вып. 11. С. 2054–2055.

5. Малиновский В.К. Фотоиндуцированные явления в силленитах / В.К. Малиновский, О.А. Гудаев, В.А. Гусев, С.И. Деменко. Новосибирск: Наука, 1990. 160 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНАРНЫХ ВОЛНОВОДОВ С ВЫТЕКАНИЕМ СВЕТА НА ОСНОВЕ НИОБАТА ЛИТИЯ

*М.С. Иванов, А.О. Маркин, А.Б. Мухтубаев, В.Ю. Рябченко,
студенты 3-го курса*

*Научный руководитель В.М. Шандаров, профессор каф. СВЧиКР,
д-р физ.-мат. наук*

г. Томск, ТУСУР, каф. СВЧиКР, mukhtubaev.ab@gmail.com

Планарные оптические волноводы на основе фоторефрактивного ниобата лития (LiNbO_3) представляют значительный интерес с точки зрения реализации полностью оптических и оптоэлектронных элементов для лазерных приборов и систем оптической обработки информации.

Целью данной работы явилось исследование явления вытекания света в подложку из анизотропных планарных волноводов, полученных в ниобате лития протонным обменом с сопутствующим внедрением ионов меди, а также диффузией титана. Кроме того, исследовались явления формирования фоторефрактивных решеток в планарном волноводе при однолучковом воздействии. Линейные размеры исследуемого кристалла: $a \times b \times h$ ($5 \times 10 \times 12$) мм^3 (рис. 1).

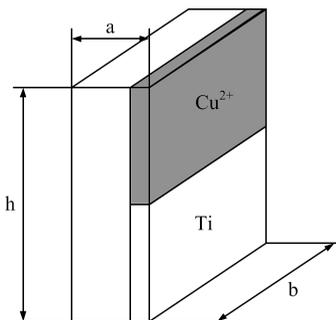


Рис. 1. Исследуемый образец

Оптические волноводы созданы в подложках X- и Y-срезов. Оптическая ось в плоскости подложек ориентирована так, что свет в волно-

воде распространяется в направлениях, составляющих с оптической осью углы $\pm 45^\circ$.

Схема экспериментальной установки для исследования эффекта вытекания света из планарного волновода представлена на рис. 2.

Как известно [1–3], при возбуждении ТЕ мод в волноводе подобной ориентации наблюдается вытекание света из волноводного слоя в подложку в виде волны с обыкновенной поляризацией.

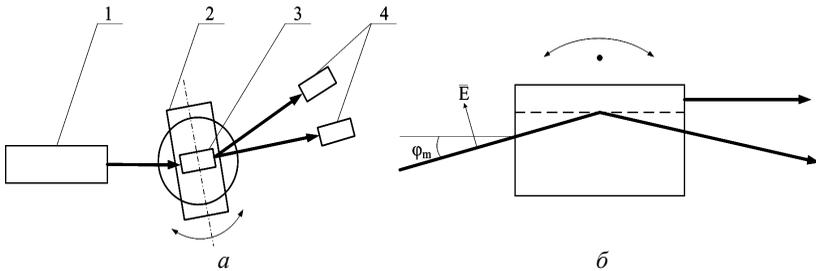


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: *a* – схема всей установки; *б* – схема ввода света в волновод, где 1 – лазер; 2 – теодолит; 3 – исследуемый образец; 4 – фотодиоды (ФД-24К). В различных экспериментах использовались источники излучения: He-Ne лазер (633 нм) и YAG:Nd³⁺ лазер (532 нм)

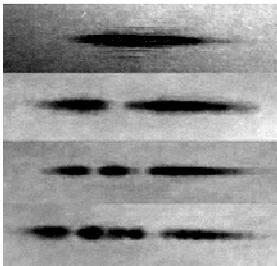


Рис. 3. Возбуждение ТЕ мод различных порядков

В результате исследований обнаружено, что в образце, полученном диффузией титана, наблюдается возбуждение ТЕ мод различных порядков. Рисунок 3 демонстрирует картины световых полей, излучаемых с торца оптического волновода при полном внутреннем отражении от его поверхности обыкновенно поляризованной световой волны (разные моды возбуждаются при разных углах падения этой волны на поверхность волновода).

Проведены оценки эффективности ввода света в волновод. В таблице приведены интенсивности отраженного от поверхности волновода светового пучка при возбуждении моды (I_d) и при отстройке от условий ввода (I_0), а также эффективность ввода, рассчитанная по формуле

$$\eta = \frac{I_0 - I_d}{I_0} \cdot 100\% .$$

Эффективность ввода мод разных порядков

№ моды	I_0	I_d	$\eta\%$	Угол ввода
0	154,0	136,6	11,3	$14^{\circ}44'34''$
1	155,2	135,4	12,8	$15^{\circ}22'2''$
2	152,4	117,9	22,6	$15^{\circ}57'27''$
3	153,6	113,6	26,0	$16^{\circ}24'25''$

При однолучковом формировании фоторефрактивных решеток использовалось излучение с $\lambda = 532$ нм, поляризация света соответствовала в разных экспериментах обыкновенной или необыкновенной волнам в подложке. На рис. 4 приведена картина излучения света с торца волновода в условиях возбуждения в нем TE_1 моды, после его экспонирования в течение 30 мин при световой мощности 5,9 мВт.

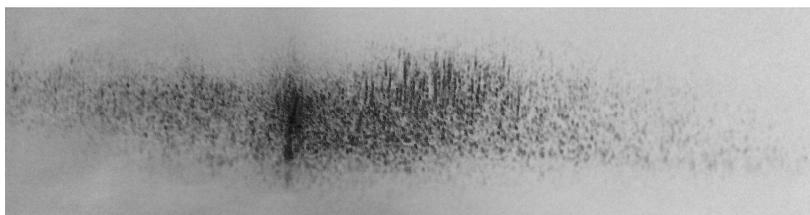


Рис. 4. Излучение с торца волновода при возбуждении в нем TE_1 моды (изображение повернуто на 90°).

Таким образом, планарные волноводы с вытеканием света на основе ниобата лития могут использоваться для реализации электрооптических и акустооптических модуляторов, а также фоторефрактивных голографических элементов.

Работа выполнена в рамках НИР РНП.2.1.1.429, НИР по госконтракту № 02.740.11.0553 и совместного проекта РФФИ-ГФЕН Китая (грант 11-02-91162-ГФЕН_а).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Yamanouchi K., Kamiya T. and Shibayama K.* New leaky surface waves in anisotropic metal – diffused optical waveguides // IEEE Trans. on MTT. 1978. Vol. MTT-26. PP. 298–305.
2. *Шандаров В.М.* Электрооптическая модуляция света при полном внутреннем отражении от поверхности ниобата лития с анизотропным оптическим волноводом // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20, Вып. 21. С. 34–39.
3. *Ярив А.* Оптические волны в кристаллах / А. Ярив, П. Юх. М.: Мир, 1987. 616 с.

ЗАВИСИМОСТЬ ЦВЕТОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТ СИЛЫ СВЕТА ОСНОВНЫХ ЦВЕТОВ RGB СВЕТОДИОДА

К.С. Калугин, студент 2-го курса магистратуры

*Научный руководитель А.А. Вилисов, нач. ЛОЭ ОАО «НИИПП», д.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ФЭ, kir402@mail.ru*

В последнее время в различных литературных источниках, посвященных использованию светодиодов в качестве источников освещения, показываются различные преимущества использования и RGB-светодиодов, и белых светодиодов (на основе люминофора) [1]. Одним важным преимуществом RGB-светодиодов указывают возможность изменять цветовую температуру по желанию потребителя, однако ни в одном источнике не указан пропорциональный состав для конкретной цветовой температуры.

Целью исследований было изучение зависимости цветовой температуры от силы света для трех основных цветов (красный, зелёный, синий).

В качестве объекта исследований использовался RGB-светодиод, собранный в лаборатории оптоэлектроники ОАО «НИИПП».

Измерения проводились при трех различных токовых режимах: 5, 10, 20 мА.

Ток, в зависимости от режима, фиксировался на двух кристаллах, и снималась зависимость цветовой температуры от силы тока на третьем кристалле. Верхний предел силы тока выбирался соответствующими максимальной силе света. Измерения проводились при помощи спектроколориметра в ОАО «НИИПП».

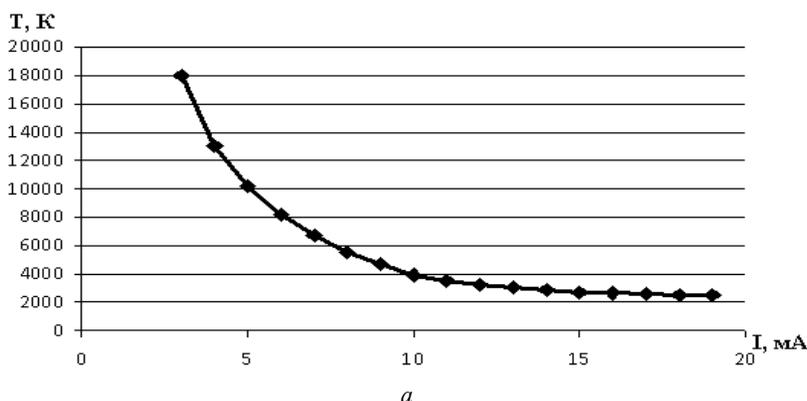


Рис. 1 (начало)

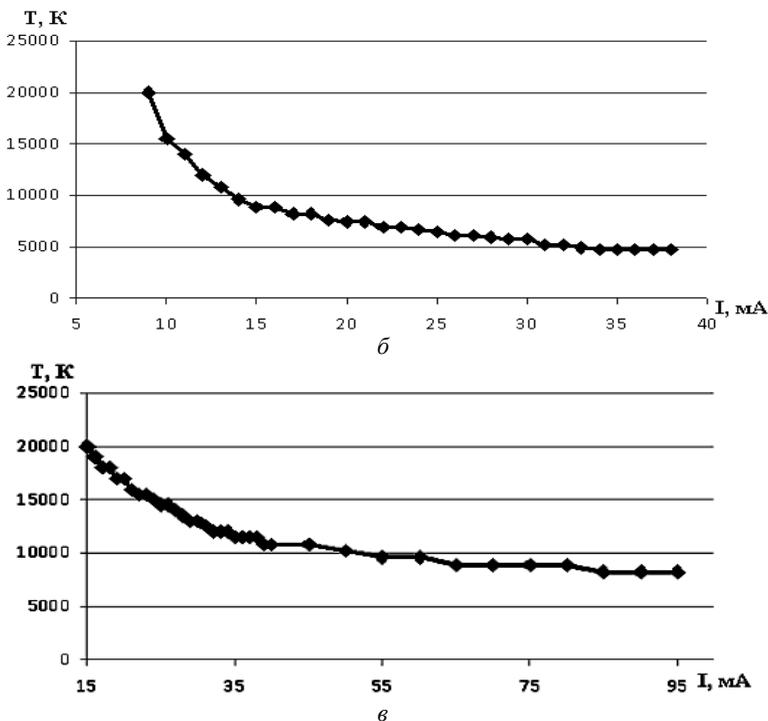


Рис. 1 (окончание). Зависимости цветовой температуры от тока на красном кристалле при токах: a – синий 5 мА, зелёный 5 мА; b – синий 10 мА, зелёный 10 мА; $в$ – синий 20 мА, зелёный 20 мА

Исследование влияния изменения силы тока на красном кристалле, а значит и интенсивности красного цвета, показали, что с увеличением доли красного цвета цветовой температуры белого цвета падает (рис. 1). При этом в зависимости от токового режима меняются пределы изменения и скорость изменения цветовой температуры. Падение цветовой температуры белого света можно объяснить тем, что красный цвет имеет низкую, по сравнению с зеленым и синим цветами, температуру цвета. Изменение цветовой температуры имеет нелинейный характер, при этом с ростом тока скорость изменения цветовой температуры падает.

Дальнейшие исследования предполагают получение пропорционального состава для различной цветовой температуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шуберт Ф. Светодиоды: пер. с англ.; под ред. А.Э. Юновича. 2-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 496 с.

ОПТИЧЕСКИЙ УЗЕЛ НА ОСНОВЕ ПЬЕЗОКЕРАМИКИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ОПТИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

О.Г. Казаковская, студентка 5-го курса,

О.В. Зайцева, студентка 1-го курса магистратуры

Научный руководитель В.И. Быков, к.ф.-м.н., доцент каф. физики

г. Томск, ТУСУР, каф. ЭП, ep@tusur.ru

В настоящее время значительный интерес уделяется разработке бесконтактных методов измерений различных физических величин. Наиболее важными из них являются интерферометрические методы. Предельная чувствительность классического интерферометра (интерферометр Майкельсона) к амплитуде измеряемых вибраций ограничена дробовыми шумами фотодетектора. К недостаткам интерферометра Майкельсона относятся чувствительность к вибрациям зеркал и высокие требования к качеству зеркальной поверхности (рис. 1).

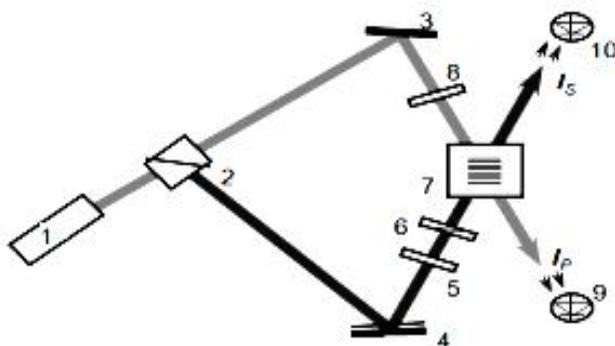


Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования взаимодействия световых волн с фазовой модуляцией сигнальной волны: 1 – твердотельный лазер; 2 – делительный кубик; 3 – неподвижное зеркало; 4 – колеблющееся зеркало; 5, 8 – четвертьволновая пластина; 6 – поляризатор; 7 – кристалл; 9, 10 – фотодиод

Здесь ключевой узел – подвижное управляемое зеркало, изменяющее положение по гармоническому закону.

Суть проблемы. Настоящая работа посвящена разработке подобного оптического узла и схемы управления, позволяющей перемещать зеркало с амплитудой до 0,5 мкм в диапазоне частот 1 Гц – 100 кГц. Для получения закона соответствия управляющего сигнала и смещения зеркала необходимо знать АЧХ этого устройства. Для контроля положения зеркала оптического узла использовался интерферометр Майкельсона (рис. 2).

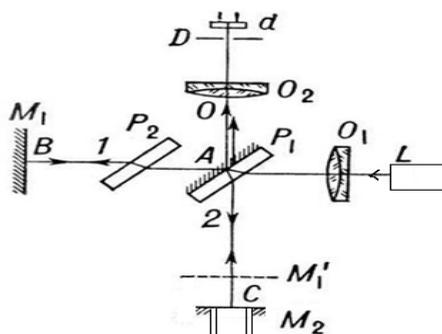


Рис. 2. Схема интерферометра Майкельсона

Интенсивность выходного сигнала в интерферометре Майкельсона:

$$I_1 = I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos\left(4\frac{\pi}{\lambda}\Delta x\right), \quad (1)$$

где I_1, I_2 – интенсивности входного и выходного сигнала; λ – длина волны лазера; Δx – геометрическая разность хода лучей.

Метод решения. Один из способов решения этой проблемы – прикрепить зеркало на пьезокерамический цилиндр.

Пьезокерамический элемент предназначен для преобразования электрической энергии в механическую. Выбор цилиндрической формы пьезокерамического элемента обусловлен тем, что обеспечивается плоскопараллельное перемещение зеркала с минимальными искажениями. Недостаток пьезокерамики заключается в емкостном характере нагрузки. При увеличении частоты управляемого сигнала уменьшается емкостное сопротивление, соответственно увеличивается емкостный ток. При измеренной емкости 14 нФ и частоте 10 кГц емкостный ток равен

$$I = qv = UCv = 500 \cdot 14 \cdot 10^{-9} \cdot 10^5 = 0,7 \text{ A}$$

Исходя из формулы (1) видно, что геометрическая разность хода лучей должна быть больше $\lambda/2$. Так как электрические колебания носят гармонический характер, за счет пьезоэлектрического эффекта образуются дополнительные гармоники, вследствие чего в цилиндре образуются стоячие волны. Это вносит дополнительный фактор влияния на отклик, следовательно, сигнал будет зависеть от механических параметров экспериментальной установки.

Так как стандартное устройство не обеспечивает такой ток, возникла задача разработать схему управления перемещением зеркала, состоящую из пяти блоков, представленных на рис. 3.

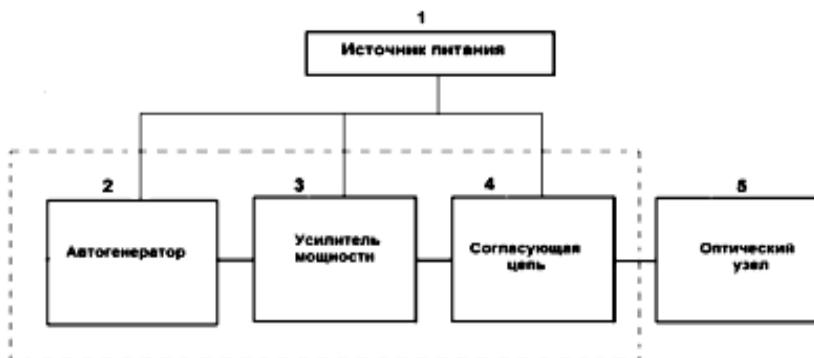


Рис. 3. Блок-схема устройства управлением зеркала

Это подтверждается экспериментально. Напряжение резко падает, емкостная нагрузка не успевает перезарядиться. Это свидетельствует о том, что пьезоэлектрический элемент не обеспечивается необходимым током.

Для решения этой проблемы была разработана схема усилительного устройства (рис. 4).

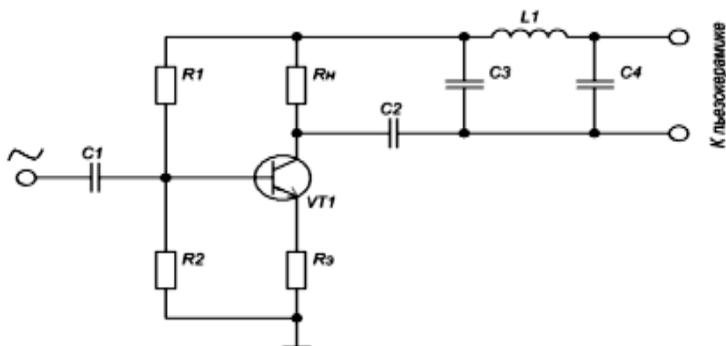


Рис. 4. Схема усилительного устройства

Полученные результаты. В итоге с фотоприемника были получены сигналы (рис. 5).



Рис. 5. Выходной сигнал с фотоприемника по оси абсцисс время (в мкс) по оси ординат напряжение (В/дел): при частоте 50, 60 и 65 кГц соответственно

Обсуждение результатов и вывод. В ходе работы был спроектирован и изготовлен оптический узел, а также устройство управления положением зеркала. Собрана экспериментальная установка интерферометра Майкельсона, с помощью которой можно получить экспериментальный график зависимости амплитудно-частотной характеристики пьезокерамического цилиндра, к которому приклеено зеркало, и затем использовать полученный график как калибровочную кривую при исследовании поляризационных зависимостей взаимодействия световых волн в кристаллах. Данный оптический узел может быть использован при разработке адаптивных интерферометров.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Савельев И.В.* Курс общей физики: В 5 кн.: Кн. 4: Волны. Оптика: учеб. пособие для вузов. М.: АСТ: Астрель, 2006. 256 с.
2. *Блистанов А.А.* Кристаллы квантовой и нелинейной оптики: учеб. пособие для вузов. М.: МИСИС, 2000. 432 с.
3. *Малов В.В.* Пьезорезонансные датчики. М.: Энергия, 1978. 248 с.
4. *Цыкина А.В.* Усилители. М.: Связь, 1972.

РОЛЬ РАССЕЯНИЯ В РАЗВИТИИ СУПЕРЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В КОМПОЗИТНЫХ СРЕДАХ «РАСТВОР КРАСИТЕЛЯ – НАНОЧАСТИЦЫ»

В.А. Харенков

*Научный руководитель Ал.А. Землянов, н.с. ТГУ, к.ф.-м.н.
г. Томск, ТГУ, kharenkof@yandex.ru*

В настоящее время отмечается значительное повышение интереса к изучению оптических процессов в средах, содержащих наноструктуры различных материалов. Это связано с разработкой физических подходов к созданию принципиально нового класса лазерных микроизлучателей и преобразователей частоты на основе использования уникальных свойств фрактальных наноразмерных структур. Внедрение наноструктур в оптически-активные среды приводит к существенному увеличению в них эффективности оптических процессов, таких как комбинационное рассеяние света (КР), генерация гармоник, люминесценция. Сильные локальные поля вблизи наночастиц, значительно превосходящие по интенсивности среднее (макроскопическое) поле, падающее на среду, обуславливают гигантское увеличение оптических восприимчивостей [1]. Большие перспективы в плане создания высокоэффективных лазерных микро- и наноизлучателей, а также преобразователей частоты оптического диапазона длин волн открываются в

связи с появлением в последнее время ряда экспериментальных работ, в которых обнаружено значительное уменьшение энергетических порогов возникновения лазерного излучения в композитах с органическими красителями и внедренными наночастицами серебра и золота [2].

В экспериментах исследовались спектрально-энергетические характеристики свечения этанольных растворов красителя родамина 6G (R6G) со взвешенными наноагрегатами серебра различной агрегации. На рис. 1 представлены фотографии наночастиц серебра.

Наночастицы серебра, представленные на рис. 1, *а* (колларгол), размерами 50–500 нм, представляют собой двумерное скопление отдельных мономеров с размерами 10–20 нм, в то время как на рис. 1, *б, в* представлены объемные агрегаты наночастиц с размерами 500–1000 нм. В агрегатах мономеров серебра, средний размер которых 12 нм, находятся на расстоянии приблизительно 1–5 нм. В рабочих растворах расстояние между агрегатами приблизительно 2 мкм.

Сначала излучение накачки на длине волны $\lambda = 0,53$ мкм направлялось в кювету с раствором R6G, свободным от наночастиц (концентрация R6G в растворе составляла 10^{-2} моль/л). Затем в кювету вводился раствор красителя той же концентрации, но уже с наночастицами в объемной доле 2%.

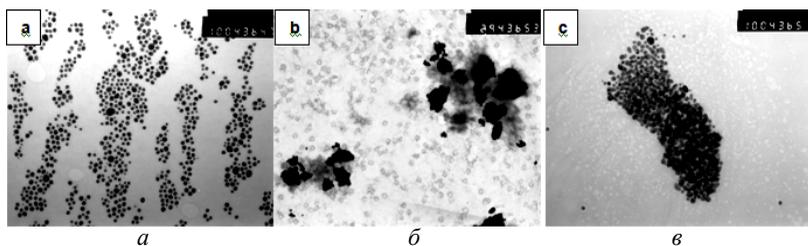


Рис. 1. Микрофотографии: *а* – колларгола (увеличение 100 000), *б, в* – наночастиц серебра (увеличение 30 000 и 100 000)

Спектры суперлюминесценции, полученные при концентрациях агрегатов наночастиц серебра с малым фактором заполнения и с размерами 50–500 нм, представлены на рис. 2, *а*. На рис. 2, *б* представлены спектры свечения растворов R6G с агрегатами серебра с большим фактором заполнения и размерами 500–1000 нм.

Скорее всего, появление широкополосного пика в длинноволновой области связано с рассеянием на агрегатах. Излучение накачки, претерпевая рассеяние на агрегатах, частично уходит в сторону из рабочего объема суперлюминесценции, которая определяется диаметром пучка. Следовательно, рассеянное излучение накачки возбуждает лю-

минесценцию вне области пучка накачки, излучение люминесценции попадая на фотоприемник, обеспечивает дополнительный вклад в регистрируемый сигнал. При этом дополнительное излучение спонтанной люминесценции вне основного пучка, проходя толщину раствора, в результате эффекта реабсорбции испытывает поглощение в основном в своей коротковолновой части. В результате спектр спонтанной люминесценции деформируется и регистрируемая спектральная картина свечения раствора представляет собой структуру с двумя пиками интенсивности. Первый спектральный пик относится к суперлюминесценции, второй – к спонтанной люминесценции, возникающей из-за рассеяния излучения накачки.

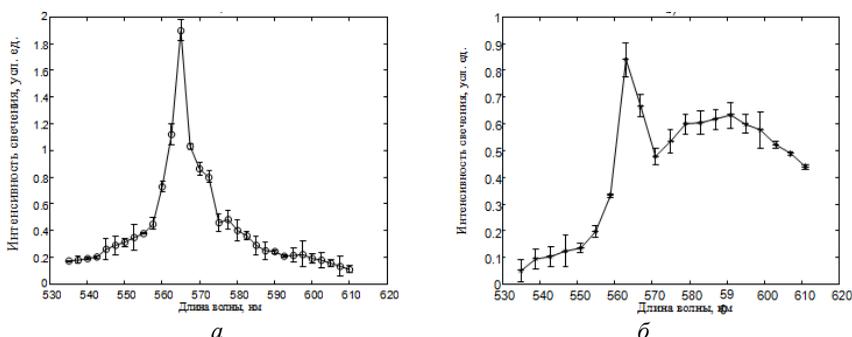


Рис. 2. Спектры суперлюминесценции:
a – колларгол; *б* – объемные агрегаты наночастиц серебра

В подтверждение сделанного предположения мы провели следующий эксперимент. Излучение лазера накачки направлялось на кювету с рабочими растворами (но без красителя R6G) наночастиц колларгола (малоразмерных и слабоагрегированных наночастиц) и агломератов серебра. Полученные фотографии представлены на рис. 3.

Фон на рис. 3, *б* представляет собой типичную спекл-картину, т.е. интерференционную картину, получающуюся в результате интерференции лазерного излучения, рассеянного на агрегатах серебра. Поскольку в случае

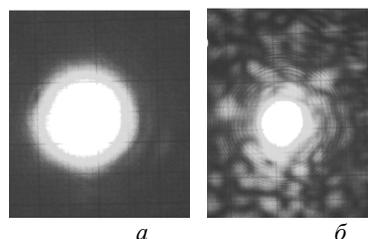


Рис. 3. Фотографии картин на экране, полученных после прохождения излучения лазера через кювету (*a* – кювета с раствором колларгола; *б* – кювета с раствором агрегатов наночастиц серебра)

колларгола фон не наблюдается, можно утверждать, что рассеяние в этом случае мало в сравнении с рассеянием на агрегатах серебра. Сравнение приведенных фотографий (см. рис. 1) на качественном уровне подтверждает правильность сделанного выше предположения.

В результате проведенных экспериментов показано, что при добавлении в раствор родамина 6G взвесей из двумерных агрегатов наночастиц серебра размером 50–500 нм эффективность суперлюминесценции выше, чем при использовании агрегатов серебра с размерами 500–1000 нм при одинаковой концентрации серебра в растворах и фиксированной энергии накачки. Причиной этого является негативный вклад в процесс возникновения суперлюминесценции эффекта рассеяния на крупных агрегатах наночастиц серебра.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по образованию в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг., в рамках реализации мероприятия № 1.2.2 Проведение научных исследований научными группами под руководством кандидатов наук (госконтракт № ПЗ67 от 30 июля 2009 г.).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Sarychev V.M., Shalaev V.M.* // *Physica Review B.* 1998. Vol. 57, № 20. P. 13265–13287.
2. *Armstrong R.L., Kim W.T., Shalaev V.M., Safonov V.P.* // *Phys. Rev. Lett.* 1999. Vol. 82, № 24. P. 4811–4814.

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ФОТОДЕТЕКТОР НА ОСНОВЕ НАНОГЕТЕРОСТРУКТУРЫ Ge/Si

А.В. Кособуцкий, НОЦ «Нанoeлектроника» с.н.с.

г. Томск, ТГУ, brudnyi@mail.tsu.ru

Работы по созданию новых фоточувствительных устройств, основанных на квантовых эффектах, широко проводятся в настоящее время в разных странах. При этом полупроводниковые структуры с нановключениями (квантовыми точками, КТ) одного полупроводникового материала, встроенными в матрицу другого кристаллического полупроводника, являются перспективными структурами для создания источников некогерентного – светодиодов и когерентного – лазеров излучений, а также фотоприемников, модуляторов и демомодуляторов, мультиплексоров для волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). При изготовлении таких структур используются преимущественно методы эпитаксии из молекулярных пучков (молекулярно-лучевая эпитаксия,

МЛЭ) в сверхвысоком вакууме. Использование технологии МЛЭ позволяет выращивать нанокластеры одного полупроводникового материала диаметром от нескольких до приблизительно 10^2 нм при поверхностной плотности таких нанокластеров $10^8 - 10^{12}$ см⁻² соответственно в кристаллической матрице другого полупроводника. Такие нанокластеры изменяют энергетический спектр полупроводника, создавая дополнительные энергетические состояния, так называемые уровни размерного квантования, которые формируют дополнительные оптические переходы носителей заряда в кластерном полупроводнике, что и используется при создании оптических излучателей и фотоприемников.

Перспективными фоточувствительными структурами для создания интегральных фотоприёмников информационного обмена со скоростями десятки Гбит/с в оптоволоконных линиях связи являются структуры на основе эпитаксиальных пленок Si с нановключениями (квантовыми точками) Ge, которые обладают хорошей спектральной чувствительностью в диапазонах длин волн 1,3–1,5 мкм. Такие структуры могут быть изготовлены методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) [1].

Теоретические расчеты выявляют особенности в спектрах оптического поглощения Si с квантовыми точками Ge, связанные с непрямыми электронными переходами между заполненными резонансными и щелевыми уровнями германиевых кластеров и объемными состояниями нижней зоны проводимости кристаллов идеального кремния. Проанализирована схема возможных оптических переходов участвующих в формировании спектров примесного поглощения кремния с нанокластерами германия [2]. Показано, что предпочтительной структурой для использования в производстве фотоприемников является многослойная эпитаксиальная наногетероструктура на основе квантовых точек германия в кремнии, в которой удастся добиться послойного согласования в «вертикальном» расположении квантовых точек Ge за счет их предпочтительного зарождения в «верхних» эпитаксиальных слоях Si преимущественно в областях микрострессоров, создаваемых квантовыми точками германия «нижних» эпитаксиальных слоев кремния [3].

Использованные в настоящей работе фоточувствительные структуры представляли собой плотные массивы нанокристаллов германия пирамидальной формы с размерами в основании около 10 нм, плотностью $(0,1-1,0) \times 10^{12}$ см⁻³ и элементным составом Ge в нанокристаллах, близким к единице, расположенные в матрице кристаллического кремния. Фоточувствительные слои кремния (до 30 слоев) с квантовыми точками германия изготавливались методом МЛЭ в Институте физики полупроводников СО РАН (г. Новосибирск). Для измерений вре-

менных параметров фоточувствительных структур на основе многослойных гетероструктур Ge/Si изготавливались чипы размером около 250×350 мкм², имеющие два контакта из золота. Подготовленные таким образом чипы устанавливались в специальное устройство, которое по функциональному назначению можно условно назвать экспериментальным фотоприёмником. Источником оптического возбуждения служил фемтосекундный лазер EFAO-100M фирмы «Авеста-проект», который генерировал импульсы длительностью 120 фс, с частотой повторения 70 МГц, энергией импульса 1,4 нДж, пиковой мощностью 14,4 кВт и средней мощностью излучения – 120 мВт. Для регистрации сигнала фотосопротивления Ge/Si использовался стробоскопический осциллограф WE-100H фирмы «Lecroy» с полосой пропускания до 18 ГГц.

В качестве контрольного фотоприёмника использовался фотоприёмник ДФДМШ40-16 (InGaAs PIN) фирмы «ДИЛАЗ» со следующими характеристиками: чувствительностью на длине волны 1550 нм – 0,84 А/Вт, темновым током – 1 нА, неравномерностью амплитудно-частотной характеристики – 5,8 дБ, диапазоном частот – 0–16 ГГц. Для ввода оптического излучения в фотоприёмник ДФДМШ40-16 используется одномодовое оптоволокно длиной около 500 мм, один конец которого введён в корпус контрольного фотоприёмника, а другой конец оптоволокна армирован измерительным оптическим разёмом FC/APC с малым коэффициентом отражения. Таким образом, вся измерительная схема сохранялась при замене исследуемого фотосопротивления Ge/Si на контрольный фотоприёмник ДФДМШ40-16 [4].

Изготовлена конструкция экспериментального образца фотоприёмника на основе многослойной кремниевой структуры, активной областью которого является пространство между омическими контактами образца, освещаемое импульсами фемтосекундного лазера. Анализ амплитудно-частотных характеристик экспериментальных образцов выявляет значительный разброс их фоточувствительности и временных параметров импульсного фотоотклика. Показано, что времена нарастания и спада фотоимпульсов лучших экспериментальных образцов фотоприёмников близки полосе пропускания контрольного коммерческого фотоприёмника ДФДМШ40-16. При этом возможно увеличение быстродействия экспериментального образца фотоприёмника за счет улучшения качества многослойной эпитаксиальной структуры и дальнейшей разработки конструкции фотоприёмника, в частности, уменьшения размеров экспериментального чипа и изменения геометрии контактов.

Область применения выполненной работы включает высокочастотные фотоприёмные полупроводниковые устройства с рабочими

температурами вблизи комнатных температур для ближней инфракрасной области спектра.

Работа выполнена при поддержке программы АВЦП № 2.1.2/13608 «Высокочастотный фотоприемник на основе многослойной гетероструктуры Ge/Si».

ЛИТЕРАТУРА

1. Пчеляков О.П., Болховитянов Ю.Б., Двуреченский А.В. и др. // ФТП. 2000. Т. 34, вып. 11. С. 1281–1299.
2. Брудный В.Н., Гриняев С.Н. // Изв. Вузов. Физика. 2010. Т. 53, №7. С. 43–45.
3. Якимов А.И., Двуреченский А.В., Кириенко В.В., Никифоров А.И. // ФТП. 2005. Т. 47, вып. 1. С. 37–40.
4. Донченко В.А., Землянов А.А., Кириенко В.В. и др. // Изв. вузов. Физика. 2010. Т. 53, № 9/3. С. 190–191.

ПРИЁМОПЕРЕДАЮЩИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ АТМОСФЕРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Ю.А. Костяной, студент

*Научный руководитель С.Н. Шарангович, профессор СВЧУКР, к.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. СВЧУКР, rezarik@mail.ru*

В настоящее время на рынке беспроводных устройств связи наряду с широко известными технологиями Wi-Fi появляются оптические системы доступа на «последней миле». Привлекательность оптических беспроводных устройств связи для пользователя очевидна: не требуется специальных разрешений на установку канала связи, высокая скорость передачи информации, отсутствуют взаимные помехи, высокая степень защищённости [1]. Вместе с тем вследствие новизны и неосвоенности технологий стоимость оборудования атмосферных оптических линий связи (АОЛС) оказывается слишком высокой для небольших коммерческих и некоммерческих локальных сетей. Описываемое в данной работе устройство было предложено к разработке в качестве одного из решений минимизации стоимостных показателей организации подобных систем при условии достижения значений параметров передачи, не худших чем значения параметров в аналогичных существующих системах.

Структура приёмопередающего модуля

Основой любых линий связи являются приёмопередающие модули (ППМ), входящие в состав оборудования связи, и среда передачи [2]. Для АОЛС средой передачи является атмосфера, характеристики

которой не могут управляться человеком, а только учитываться при расчёте остальных частей системы. Поэтому главной задачей в разработке АОЛС является создание функционально полноценного ППМ низкой стоимости. Функционально ППМ можно разделить блоки, как показано на рис. 1.



Рис. 1. Функциональная схема приёмопередающего модуля АОЛС

Изначально ППМ необходимо организовать так, чтобы каждый из блоков мог быть заменён или модернизирован без крупных изменений всей системы устройства.

Передатчик

Оптический сигнал передатчика, прежде чем попасть в фотоприёмник, должен преодолеть определённый слой воздуха. Прохождение коллимированного излучения в атмосфере может сопровождаться различными паразитными явлениями. С другой стороны, на параметры излучателей накладываются ограничения, установленные «Санитарными правилами и нормами устройства и эксплуатации лазеров» (СанПиН 5804–91). С учётом указанных ограничений был выбран тип излучателя и разработана электрическая принципиальная схема для его работы в требуемом режиме. Полученные характеристики передатчика приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики передатчика

Параметр	Значение
Тип модуляции	Амплитудная
Предельная частота модуляции	250 МГц
Длина волны излучения	660 нм
Предельная мощность излучения (с запасом)	110 мВт

Приёмник

На основании параметров передатчика были произведены расчёт характеристик приёмника и подбор оптимальных параметров оптиче-

ской схемы. В основу расчётов был положен принцип, заключающийся в том, что конструктивные параметры фоточувствительного элемента должны обеспечивать возможность приёма с минимальными требованиями к оптической части ППМ. Это связано, прежде всего, с высокой стоимостью оптических элементов.

По рассчитанным значениям был выбран фоточувствительный элемент и разработана принципиальная схема для обеспечения работы приёмника в требуемом режиме. В табл. 2 приведены полученные характеристики приёмника.

Таблица 2

Характеристики приёмника

Параметр	Значение
Тип детектирования	Амплитудный
Предельная частота детектирования	270 МГц
Коэффициент передачи на длине волны 660 нм	Не менее 0,5
Мощность шума на частоте 125 МГц	50 нВт

Оптическая система. Параллельно с расчётом параметров приёмника был проведён расчёт характеристик оптической системы ППМ. Для возможности передачи излучения на максимальное расстояние с минимальным воздействием на качество передачи требовалось создать параллельный пучок на выходе ППМ, энергетические параметры которого не нарушали требования СанПиН 5804–91. На данной стадии были учтены основные вносимые влияния атмосферы [3]: уменьшение интенсивности излучения в процессе распространения в атмосфере; рефракция направленного излучения в атмосфере. По полученным данным спроектирован коллиматор, обеспечивающий вместе с передатчиком и приёмником передачу излучения на расстояние до 5 км.

Система управления. Данную систему условно можно разделить на систему управления информационным потоком и систему контроля состояния ППМ. Первая должна обеспечивать взаимодействие ППМ с выбранным интерфейсом передачи, производить декодирование и переход электрических параметров от одной системы передачи к другой. В качестве внешних проводных источников, подключаемых к ППМ, были выбраны сети стандартов 10Base-T и 100Base-TX. Исходя из этого, разработан соответствующий [4]. Система контроля состояния ППМ должна обеспечивать реакцию устройства на негативные механические, термические и электрические воздействия.

Заключение. Данное устройство позволяет обеспечить надёжный защищённый беспроводной канал связи между двумя удалёнными объектами, разнесёнными на расстояние до 5 км, в пределах прямой

видимости. Стоимость готового устройства составила 8–10 тыс. рублей, в два-три раза меньше цены наиболее бюджетных аналогов и в десятки раз ниже средней стоимости подобных устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проект «О СКС» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ockc.ru>.
2. FSO-технология. Атмосферные оптические линии связи (АОЛС) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.moctkom.ru/fsotech.htm>
3. *Бегунов Б.Н.* Геометрическая оптика. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1966. 210 с.
4. *Иванов В.И., Аксёнов А.И., Юшин А.М.* Полупроводниковые оптоэлектронные приборы. М.: Энергоатомиздат, 1988. 307 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛОВ АТМОСФЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ ПРИЁМОПЕРЕДАЮЩИХ МОДУЛЕЙ

Ю.А. Костяной, студент

*Научный руководитель С.Н. Шарангович, проф. СВЧУКР, к.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. СВЧУКР, rezarik@mail.ru*

Установка широкополосных линий связи между коммерческими, муниципальными и жилыми зданиями может быть крайне необходимой, с одной стороны, но проблемной – с другой. Есть несколько решений подключения и объединения в единую сеть локальных вычислительных сетей (ЛВС), расположенных в разных зданиях. Одно из решений – беспроводные системы, нашедшие широкую популярность из-за простоты реализации и надежности. В отличие от проводных и арендованных линий связи, беспроводную систему можно быстро развернуть и установить в случае необходимости [1]. Все беспроводные системы можно разделить на радиочастотные и атмосферно-оптические (АОС). Второй тип систем имеет ряд преимуществ, как видно из таблицы.

Таким образом, существует необходимость в разработке новых систем на основе атмосферных оптических линий связи (АОЛС). Однако существующие модели оценки влияния атмосферы на канал часто либо слишком сложны для разработчиков, либо не отвечают действительности. В данной статье предложена доступная модель оценки такого влияния и поиска оптимальных значений элементов систем АОЛС.

Сравнительная характеристики беспроводных систем связи

Фактор	АОС	Радиочастотная система
Полоса пропускания	10 Мб/с – 1,25 Гб/с	11–100 Мб/с
Регистрация/аренда канала	Не требуется	Высокая стоимость аренды
Погода	Лучше при дожде	Лучше при тумане
Препятствия в прямой видимости	Не допустимы	Допустимы
Безопасность	Сигнал трудно перехватить	Сигнал легко перехватить
Стоимость систем, долл.	15,000–35,000	1,000–50,000

Влияние атмосферы на оптический сигнал

Основой любых линий связи являются приёмопередающие модули (ППМ), входящие в состав оборудования связи, и среда передачи [2]. Для АОЛС средой передачи является атмосфера, характеристики которой не могут управляться человеком, но обязательно должны учитываться при расчёте остальных частей системы. Поэтому для разработки надёжной АОЛС сначала необходимо смоделировать влияние атмосферы на оптический сигнал.

Прохождение коллимированного излучения в атмосфере может сопровождаться следующими явлениями: ослабление интенсивности излучения, рефракция, уменьшение контрастности пучка на фоне, создаваемом рассеянным излучением, изменение поперечных размеров пучка, изменение направления плоскости поляризации [2]. Основными из них являются уменьшение интенсивности и рефракция излучения в атмосфере.

Для учёта первого из закона Бугера было получено соотношение (1)

$$A_{\text{атмос.кан}} = 10 \lg \left(\frac{P_{\text{и}} \cdot D_{\text{приём}}^2}{P_{\text{мин}} \cdot \alpha^2 L_p^2} \right), \quad (1)$$

где $A_{\text{атмос.кан}}$ – затухание атмосферного канала; $P_{\text{и}}$ – мощность излучения источника; $P_{\text{мин}}$ – минимальная принимаемая мощность фотоприёмного устройства; $D_{\text{приём}}$ – диаметр светочувствительного элемента; α – угол расходимости излучения; L_p – расстояние, пройденное лучом в атмосфере.

Из выражения (1) видно, что изменение интенсивности излучения в атмосфере связано с параметрами используемого ППМ, поэтому необходимо было учесть возможности существующих излучателей и приёмников при моделировании АОЛС.

Атмосфера представляет собой оптически неоднородную среду, поэтому траектория светового луча в атмосфере, строго говоря, всегда в какой-то степени криволинейна (рис. 1). Искривление световых лучей при прохождении через атмосферу называют рефракцией света в атмосфере [3]. На практике для коротких дистанций на горизонтальных трассах градиент температуры можно считать постоянным, тогда по дисперсионному методу учёта рефракции смещение по координате y можно определить по (2):

$$\delta y_p = - \left(\frac{n_B - 1}{n_B T} \right) \text{grad}_y T \cdot \frac{l^2}{2}, \quad (2)$$

где l – расстояние от выходного зрачка объектива излучателя до фотоприёмного устройства; n_B – показатель преломления воздуха; $\text{grad}_y T$ – градиент температуры на участке атмосферы.

Данное отклонение показано на рис. 1.

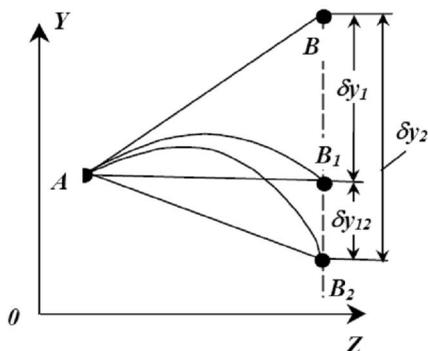


Рис. 1. Дисперсионный метод учёта рефракции

Оптимизация характеристик элементов ППМ АОЛС

На основании указанных соотношений и принципов было проведено численное моделирование влияния атмосферы на канал АОЛС, а также решены две задачи оптимизации характеристик элементов ППМ – приёмника, передатчика и оптической системы.

В первой задаче были определены фокусное расстояние оптической системы и размеры входного светового пучка, т.е. минимальный диаметр входной линзы. Оптимизация шла через значение освещённости – универсальный энергетический параметр как для передатчика, так и для приёмника. Значение освещённости на приёмном конце приводилось к максимальному. В зависимости от него были рассчитаны параметры электронных элементов ППМ.

Второй этап непосредственно представляет собой определение параметров оптических элементов, здесь исходными являются выходные данные первой задачи.

Заключение

Полученная численно-оптимизационная модель позволяет оценить влияние атмосферы на оптический канал связи и, используя ряд входных данных, произвести подбор оптимальных параметров оптических элементов приёмопередающего модуля АОЛС.

ЛИТЕРАТУРА

1. *FSO-технология*. Атмосферные оптические линии связи (АОЛС) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mostkom.ru/fsotech.htm>
2. *Спектроскопия* атмосферных газов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://spectra.iao.ru>
3. *Михайлов И.В.* Атмосферные оптические линии связи с повышенной помехоустойчивостью. СПб.: Питер, 2007. 216 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА

*А.С. Котин, студент 4-го курса; С.С. Шмаков, аспирант
г. Томск, ТУСУР, каф. ЭП, ep@tusur.ru.*

Динамический характер фоторефрактивных отражательных голограмм в кристаллах титаната висмута позволяет осуществить при взаимодействии на них световых волн адаптивный анализ спектра колебаний зеркально отражающих объектов с амплитудой менее 5 пм [1]. Двухволновое смещение в фоторефрактивных кристаллах позволяет не только эффективно преобразовывать фазовую модуляцию оптического излучения интерферометра в модуляцию выходной оптической мощности, но и компенсировать низкочастотную модуляцию, вызванную изменением внешних условий [2, 3]. В настоящей статье представлены результаты исследования характеристик адаптивного голографического интерферометра, использующего встречное взаимодействие световых волн в кристалле титаната висмута среза (100) для измерения колебаний зеркала в диапазоне частот от 300 Гц до 10 кГц.

Схема голографического интерферометра, подробно описанная в [1] и использованная для проведения исследований, представлена на рис. 1.

В наших экспериментах использовались He-Ne лазер ($\lambda = 633$ нм) с выходной мощностью 20 мВт, кристалл $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Ca}$ среза (100) толщиной $d = 1,8$ мм с просветленными гранями, фотоприемник на основе

диода ФД-24К, нагруженного на сопротивление $R_H = 8,8$ кОм при напряжении смещения 12 В, и селективный вольтметр Unipan 237. Колебания зеркала 4, амплитуда которых измерялась интерферометром, создавались пьезокерамическим цилиндром и задавались генератором ГЗ-112.

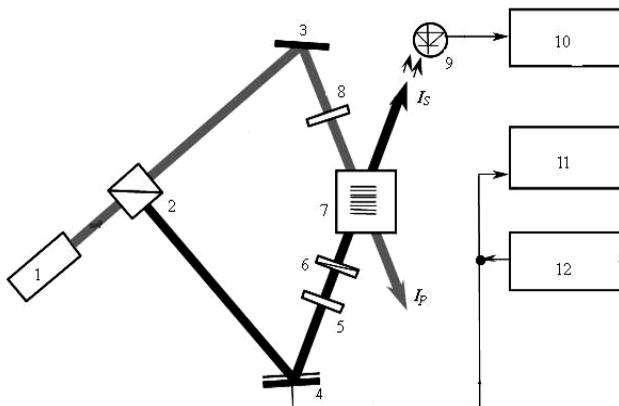


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – лазер; 2 – оптический делитель; 3 – неподвижное зеркало; 4 – колеблющееся зеркало; 5 и 8 – четверть-волновая пластина; 6 – поляризатор; 7 – фоторефрактивный кристалл $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ среза (100); 9 – фотодиод; 10 – селективный вольтметр; 11 – вольтметр; 12 – генератор

Напряжение информационного сигнала, измеряемое селективным вольтметром в рассматриваемом интерферометре на частоте колебаний зеркала Ω , определяется выражением [1]

$$U_{\Omega}(l) = R_H S_{ph} J_0(2kl) J_1(2kl) \frac{\Gamma_I}{\rho} \sin(\rho d) \cos(\rho d - 2\theta_{S0}) P_S, \quad (1)$$

где S_{ph} – токовая монохроматическая чувствительность фотоприемника; Γ_I – коэффициент усиления, характеризующий эффективность взаимодействия пучков; ρ – удельное оптическое вращение и d – толщина кристалла; J_n – функция Бесселя n -го порядка, $k = 2\pi/\lambda$; θ_{S0} – угол между вектором поляризации сигнального пучка и кристаллографическим направлением [010] и P_S – выходная мощность сигнального пучка в отсутствие накачки. В экспериментах нами измерялись зависимости напряжения U_{Ω} от амплитуды колебаний зеркала l , которая изменялась от 1 пм до 80 нм при изменении амплитуды напряжения на пьезокерамическом цилиндре от 1 мВ до 80 В.

Квадрат шумового напряжения, выделяемого селективным вольтметром в полосе анализа Δf , может быть найден в следующем виде:

$$U_{\Sigma\Sigma}^2(l) = \Delta f \left[2eR_H^2 \left(\frac{U_{\Omega}(l)}{R_H} + I_T \right) (1 + \delta) + 4k_B T R_H \right], \quad (2)$$

где I_T – темновой ток фотодиода; k_B – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура; e – элементарный электрический заряд. В данном выражении, дополняющем проведенное в [1] рассмотрение, параметр δ учитывает вклад избыточных шумов фотоприемника в итоговую мощность шума.

Для определения входящей в выражение (2) полосы анализа Δf нами были измерены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) селективного вольтметра на различных частотах; типичный пример такой АЧХ представлен на рис. 2, а для частоты 3 кГц. Получено, что на частоте 3 кГц полоса анализа $\Delta f = 43$ Гц при избирательности селективного вольтметра 40 дБ и $\Delta f = 225$ Гц при избирательности 25 дБ. На частоте 300 Гц для избирательности 40 дБ полоса анализа достигает значения $\Delta f = 4,4$ Гц. Точковая монохроматическая чувствительность используемого фотодиода на длине волны 633 нм определена как $S_{ph} = 0,4$ А/Вт из проведенных измерений его ватт-амперной характеристики (см. рис. 2, б), при работе на линейном участке, до входной мощности $P_S = 3$ мВт.

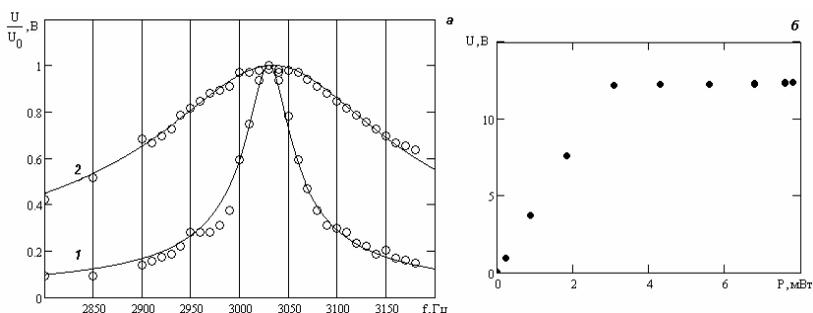


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика селективного вольтметра (а):
 1 – для избирательности селективного вольтметра 40 дБ;
 2 – 25 дБ; ватт-амперная характеристика фотодиода (б)

В экспериментах получено, что исследуемый интерферометр позволяет измерять колебания зеркально отражающей поверхности с амплитудами 4 и 2,5 нм на частоте $\Omega/2\pi = 3$ кГц при избирательности вольтметра 25 и 40 дБ соответственно. Минимальную измеряемую амплитуду колебаний зеркала, $l = 1,5$ нм, удалось достичь на частоте 300 Гц при избирательности 40 дБ.

Работа выполнена при поддержке программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2011 годы)» и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (госконтракт № 02.740.11.0553). Авторы благодарят научного руководителя, Н.И. Буримова за постановку задачи, помощь в проведении экспериментов и полезные консультации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Колегов А.А., Шандаров С.М., Каргин Ю.Ф.* Амплитудная характеристика адаптивного голографического интерферометра // Доклады ТУСУРа. 2010. № 2 (22), ч. 2. С. 66–69.
2. *Петров М.П., Степанов С.И., Хоменко А.В.* Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике. СПб.: Наука, 1992. 320 с.
3. *Шандаров С.М., Буримов Н.И., Кульчин Ю.Н. и др.* Динамические голограммы Денисюка в кубических фоторефрактивных кристаллах // Квантовая электроника. 2008. Т. 38. С. 1059–1069.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА НА ОСНОВЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА ЖАМЕНА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕЛИНЕЙНЫХ КРИСТАЛЛОВ

Д.С. Кожанов

*Научный руководитель В.И. Быков, к.ф.-м.н., доцент
г. Томск, ТУСУР, shaggy_D3H@mail.ru*

В настоящее время нелинейные оптические кристаллы используются в различных оптических устройствах, в частности для генерации второй гармоники. К подобного рода устройствам предъявляются очень высокие требования по качеству поверхностей кристаллов, а также отсутствию внутренних оптических неоднородностей.

Целью данной работы является создание установки для определения оптического качества нелинейных оптических кристаллов и разработка методики расчёта дефектов кристаллов.

Для проведения оптического контроля качества используются различные интерферометрические методы. Среди различных схем интерферометров нами был выбран интерферометр Жамена, обладающий в данном случае рядом преимуществ, среди которых устойчивая интерференционная картина, высокая чувствительность [1, 2].

Устройство интерферометра Жамена можно разобрать на схеме установки (рис. 1).

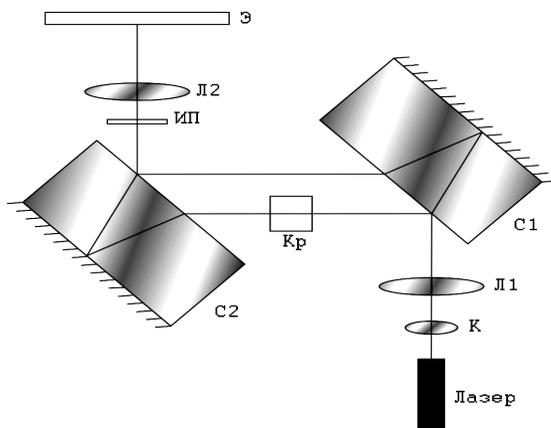


Рис. 1. Схема установки

Непосредственно интерферометр представляет собой пару плоскопараллельных пластин (С1 и С2) из оптического стекла толщиной более двух сантиметров. После преломления в пластинах и отражения от их поверхностей два луча выходят из интерферометра с разностью хода Δ . Если пластины параллельны и среда между ними однородна, то $\Delta = 0$ и суммарная картина выглядит равномерно окрашенной. Если один из лучей проходит сквозь среду с другим показателем преломления, возникает интерференционная картина. Данный принцип положен в основу установки.

Собирающие линзы (К) и (Л1) образуют коллиматор, расширяющий луч лазера до диаметра 2 см. Это позволяет освещать весь исследуемый кристалл (Кр).

Далее луч проходит через интерферометр и собирающую линзу (Л2), дополнительно увеличивающую интерференционную картину, и попадает на экран (Э).

Приведём пример получаемого изображения (рис. 2):

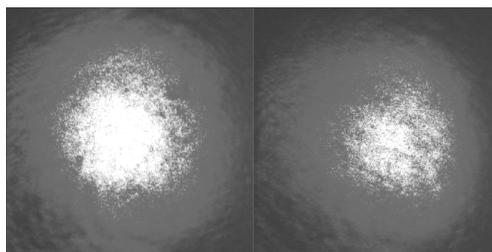


Рис. 2. Получаемое изображение (слева – без образца, справа – с плоскопараллельным стеклом)

Из данного примера видно, что в отсутствие образца и с плоско-параллельным стеклом (без каких-либо дефектов) в одном из плеч интерферометра засветка на экране получается сплошная. Отличия лишь в интенсивности засветки.

При наличии образца с дефектами в установке на экране наблюдается интерференционная картина, вид которой определяется конкретным дефектом.

Рассмотрим интерференционную картину кристалла с дефектом поверхности (рис. 3).

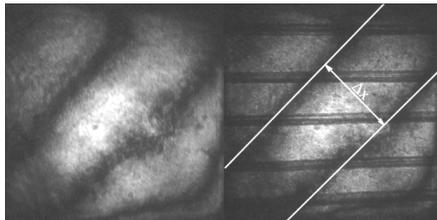


Рис. 3. Интерференционная картина кристалла с дефектом поверхности (справа – с масштабной измерительной линейкой (ИП))

Интерференционная картина в виде параллельных полос говорит о наличии интерференции клина, следовательно, о полосах равной толщины.

Исходя из масштабных полос, расстояние между интерференционными полосами равно $\Delta x = 4$ мм. Это позволяет оценить размер дефекта, решив задачу на интерференцию клина [3].

Угол клина можно оценить как $\alpha \approx \text{tg} \alpha = \frac{y}{\Delta x}$. Разность хода лучей

$$\Delta = 2yn, \text{ в то же время } \Delta = [2(m+1)+1] \frac{\lambda}{2n} - [2m+1] \frac{\lambda}{2} = \lambda, (m=0,1,2,\dots).$$

Приравняем правые части данного выражения и выразим величину y :

$$2yn = \lambda \Rightarrow y = \frac{\lambda}{2n}.$$

Подставим величину y в выражение для угла клина:

$$\alpha = \frac{\lambda}{2n \cdot \Delta x}.$$

Исходя из того, что мы используем He-Ne лазер, длина волны будет равна $\lambda = 0,6328$ мкм, а так как данный кристалл типа КТР, то для этой длины волны показатель преломления равен $n = 1,76$ [4]. Рассчитаем угол клина для данного случая: $\alpha = 4,5 \cdot 10^{-5}$ рад.

На рис. 4 представлен кристалл, одна из граней которого имеет скруглённую поверхность. Данная методика позволяет построить карту поверхности.

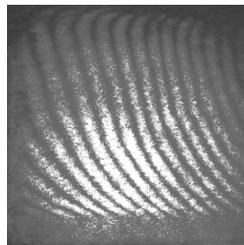


Рис. 4. Образец с большим дефектом поверхности

Созданная установка позволяет обнаружить оптические дефекты как поверхностного типа, так и внутренние напряжения, оптических нелинейных кристаллов, а методика расчёта – оценить масштаб этих дефектов. Таким образом, мы имеем возможность отбраковать образцы либо передать на повторную шлифовку с указанием расположения дефекта и его точных размеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976.
2. Захарьевский А.Н. Интерферометры. М.: Оборонгиз, 1952.
3. Трофимова Т.И., Павлова З.Г. Сборник задач по курсу физики с решениями. М.: Высшая школа, 2007.
4. Блистанов А.А. Кристаллы квантовой и нелинейной оптики. М.: МИСИС, 2000.

ТРАНСФОРМАЦИЯ АМПЛИТУДНЫХ ПРОФИЛЕЙ ПУЧКОВ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО СЕЧЕНИЯ В НЕЛИНЕЙНОМ ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ ФАБРИ-ПЕРО НА ОСНОВЕ НИОБАТА ЛИТИЯ

С.М. Козлова, студентка 5-го курса

г. Томск, ТУСУР, каф. СВЧуКР, kozlova_svet@mail.ru.

В современном приборостроении находят широкое применение оптические элементы и устройства (оптические переключатели, оптические и волоконно-оптические датчики и т.п.). При их создании часто используются нелинейно-оптические материалы, физические свойства которых могут изменяться при воздействии света.

Целью данной работы явились компьютерное моделирование и экспериментальное исследование эффекта нелинейного преобразования амплитудного профиля когерентного одномерного светового пучка в интерферометре Фабри-Перо.

Схема эксперимента

Структурная схема установки для исследования трансформации интенсивности представлена на рис. 1.

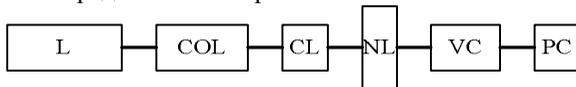


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки: L – лазер, COL – коллиматор; CL – цилиндрическая линза; NL – пластина ниобата лития; VC – видеокамера; PC – персональный компьютер

Здесь излучение твердотельного лазера с длиной волны $\lambda = 532$ нм и мощностью около 50 мВт в виде светового пучка с диаметром около 0,2–2 мм проходит сначала через коллиматор (COL), помогающий получить однородный параллельный пучок. После коллиматора пропускаем луч через цилиндрическую линзу (CL), с помощью которой можно получить одномерный пучок, необходимый для исследования. После преобразования пучок проходит через пластину LiNbO_3 Y-среза (NL) толщиной 2 мм в направлении нормали к ее плоскости. Поляризация света соответствует необыкновенной волне в кристалле. Поле прошедшего светового пучка изучается с помощью видеокамеры (VC), сопряженной с персональным компьютером (PC). Приповерхностная область пластины NL легирована комбинацией ионов железа (Fe) и меди (Cu) путем последовательной термической диффузии. В результате легированная область приобрела фоторефрактивные свойства, т.е. стала фоточувствительной. Время экспонирования образцов лазерным лучом в разных экспериментах составляло от 8 до 40 мин.

Во второй серии экспериментов вместо цилиндрической линзы использовалась диафрагма, представляющая собой узкую щель. Меняя расстояние между образцом ниобата лития и щелью, получили следующие результаты.

Анализ результатов работы

С помощью программы MATLAB была смоделирована модель трансформации профиля амплитуды интенсивности одномерного гауссова пучка в нелинейном интерферометре Фабри-Перо на основе фоторефрактивного ниобата лития (рис. 2, б).

В ходе экспериментов было выявлено, что при прохождении через образец ниобата лития, легированный ионами железа и меди, можно наблюдать эволюцию распределения интенсивности в световом пучке, проходящем через образец, обусловленную индуцированием нелинейной линзы в исследуемом образце (рис. 2, а; рис. 3, а; рис. 3, б). Сравнивая результаты моделирования и эксперимента на цилиндрической линзе (см. рис. 2, а и б), можно убедиться, что результаты моделирова-

ния качественно повторяют результаты эксперимента. Используя это свойство ниобата лития, можно попытаться создать достаточно долговечную решетку в образце, которую можно будет использовать при создании оптически управляемых элементов для синтеза когерентных световых полей с требуемой пространственной структурой.

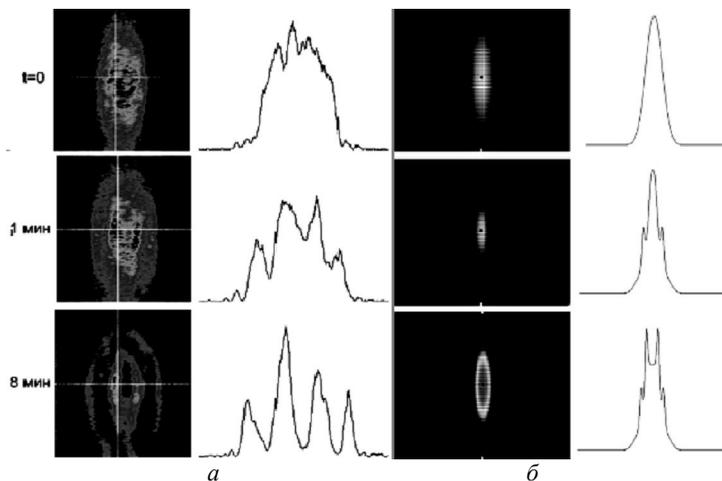


Рис. 2. Сравнение результатов эксперимента (а) и компьютерного моделирования (б)

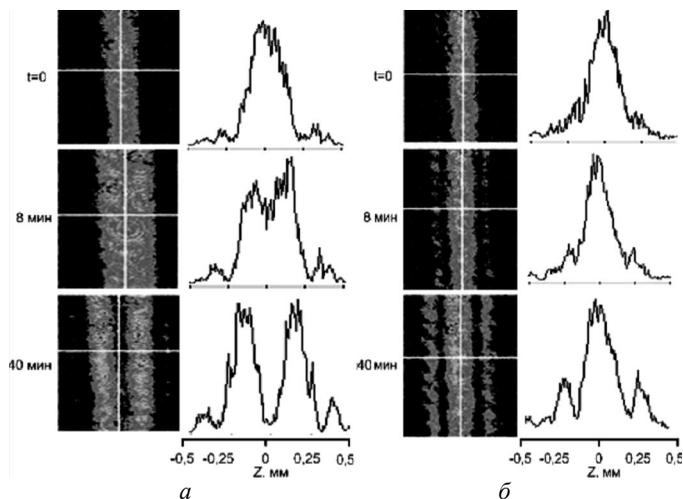


Рис. 3. Результаты эксперимента на диафрагме. Расстояние от образца до щели составляет 10 см (а); 6,5 см (б)

Компьютерное моделирование и эксперимент наглядно показывают, что трансформация амплитудного профиля происходит по одному и тому же закону.

Работа выполнена в рамках НИР РНП.2.1.1.429, НИР по госконтракту № 02.740.11.0553 и совместного проекта РФФИ-ГФЕН Китая (грант 11-02-91162-ГФЕН_a).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Петров М.П.* Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике / М.П. Петров, С.И. Степанов, А.В. Хоменко. СПб.: Наука, 1992. 320 с.
2. *Гончаренко А.М.* Гауссовы пучки света. Минск: Наука и техника, 1977. 138 с.
3. *Карпушин П.А.* Особенности нелинейного поглощения в ниобате лития с поверхностным легированием ионами железа и меди, индуцированного некогерентным коротковолновым излучением/ П.А Карпушин, Н.В. Роскоп, А.В. Гусев и др. // Докл. междуна. Науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления». Томск: ТУСУР, 2005. С. 204–208.
4. *Ярив А.* Оптические волны в кристаллах / А. Ярив, П. Юх. М.: Мир, 1987. 616 с.
5. *Гиббс Х.* Оптическая бистабильность. М.: Мир, 1988. 520 с.

ИСПЫТАНИЕ УПРАВЛЯЕМОГО ЗЕРКАЛА ДЛЯ АДАПТИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ БОЛЬШОГО СОЛНЕЧНОГО ВАКУУМНОГО ТЕЛЕСКОПА

А.Л. Мамаев, студент, каф. ОЭС и ДЗ

*Научный руководитель Е. А. Копылов, м.н.с. ЛКАО ИОА СО РАН
г. Томск, ТГУ, tataromongol@sibmail.com*

Методы адаптивной оптики представляют собой средство радикальной борьбы со снижением эффективности атмосферных оптических систем, обусловленным неоднородностями показателя преломления атмосферы. Такие неоднородности возникают в результате турбулентного перемешивания воздушных масс в атмосфере. Большой солнечный вакуумный телескоп (БСВТ) – самый большой телескоп на Евро-Азиатском континенте и основной инструмент Байкальской астрофизической обсерватории (рис. 1).

В разрабатываемой адаптивной оптической системе (АОС) для БСВТ в качестве корректирующего элемента предполагается использовать гибкое зеркало с биморфными пьезоактюаторами DM2-100-31 (диаметр зеркала 100 мм, 31 актюатор) (рис. 2).



Рис. 1. Фотографии Большого солнечного вакуумного телескопа и полярного гелиостата с плоским зеркалом

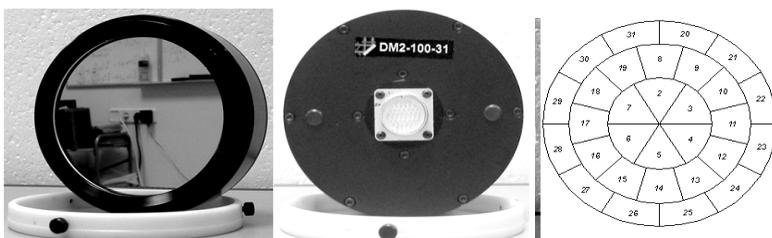


Рис. 2. Биморфное зеркало в оправе и схема размещения электродов

Целью данной работы является исследование возможности воспроизведения aberrаций волнового фронта при уменьшении диаметра световой апертуры зеркала DM2-100-31 до 60 мм.

Для обработки элементов АОС, разрабатываемой для БСВТ, была создана экспериментальная установка с аналогичными оптическими характеристиками (рис. 3).

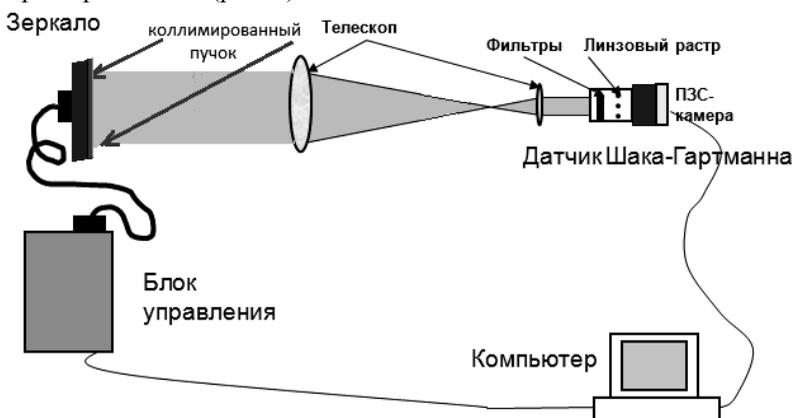


Рис. 3. Схема установки для исследования зеркала DM2-100-31

В оптическом приборостроении исторически сложилось, что для математического описания аберраций оптических систем используют ряд полиномов Цернике:

$$f(x,y) = \sum_{i=1}^{\infty} C_i \cdot Z_i(x,y),$$

где Z_i – i -й полином Цернике, заданный в круге единичного радиуса.

Для проверки точности воспроизведения волнового фронта гибким зеркалом необходимо было проверить, как зеркало воспроизводит конкретный полином. Для этого необходимо проверить, насколько точно полиномы Цернике разлагаются по функциям отклика зеркала. Задача решалась численным методом с использованием функций отклика, измеренных экспериментально.

На рис. 4 показана ошибка воспроизведения конкретного полинома Цернике управляемым зеркалом.

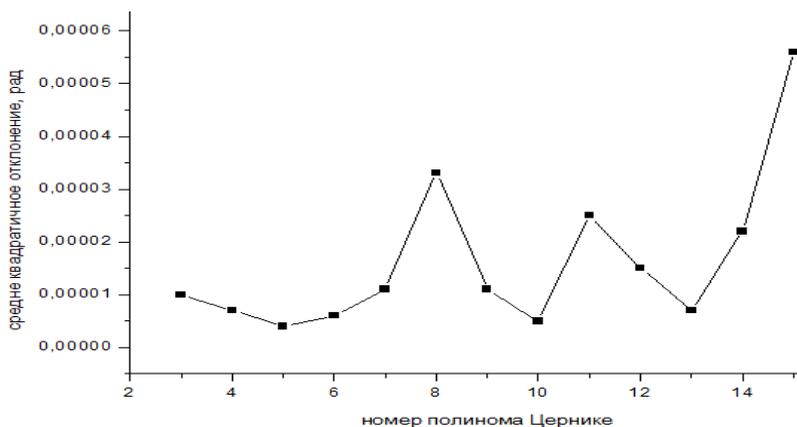


Рис. 4. Среднее квадратичное отклонение волнового фронта, заданного конкретным полиномом Цернике и разложенного по функциям отклика

Проведённые исследования показали:

1. Ошибки разложения полиномов Цернике по функциям отклика зеркала не превышают $6 \cdot 10^{-5}$ рад ($10^{-5} \lambda$).
2. Коэффициенты разложения заданного волнового фронта по функциям отклика нелинейно зависят от напряжения. Это может быть связано с изменением конфигурации электродов при ограничении световой апертуры зеркала и недостаточной точностью измерения функций отклика.

Для принятия решения об использовании зеркала на БСВТ необходимо провести дополнительные исследования. Увеличение точности

измерений базисных функций и выбор оптимальной конфигурации актюаторов за счёт исключения из управления отдельных электродов являются целью дальнейших исследований.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ РЕШЕТОК В КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ

*К.М. Мамбетова, магистрант 1-го курса
г. Томск, ТУСУР, каф. ЭП, kseniam-89@sibmail.com*

Эмиссионные эффекты на поверхности сегнетоэлектриков, связанные с их сегнетоэлектрической природой, вызывают в настоящее время значительный интерес [1–4]. Исследование эмиссии электронов с поверхности сегнетоэлектрических материалов позволяет моделировать процессы в приповерхностной области кристалла, дает возможность судить об электрических свойствах, о кристаллической и энергетической структуре исследуемых материалов. В работе [3] показано, что электрические поля, генерируемые в кристалле $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}:\text{Ce}$ Z -среза за счет фотогальванического эффекта при его засветке лазерным пучком с длиной волны $\lambda = 470$ нм и мощностью 300 мВт, приводят к импульсной эмиссии электронов. Авторами [4] продемонстрирована электронная эмиссия в виде последовательности импульсов с длительностью 1–10 мкс, синхронных с наблюдаемыми в исследуемом случае хаотическими пульсациями картин обратного фотоиндуцированного рассеяния света при засветке Z -среза кристалла $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ фокусированным лазерным пучком с $\lambda = 514$ нм. В настоящей работе представлены результаты экспериментов по исследованию динамики двухпучкового взаимодействия лазерного излучения ($\lambda = 532$ нм) на отражательных голографических решетках в кристалле $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ Z -среза, которые позволили установить условия возникновения хаотических временных флуктуаций интенсивности сигнального пучка, формирующего данную голограмму.

Схема экспериментальной установки для наблюдения фотоиндуцированного рассеяния света и формирования фоторефрактивных решеток в отражательной геометрии представлена на рис. 1. В качестве источника излучения использовался твердотельный лазер с вертикально ориентированным вектором поляризации длиной волны 532 нм и мощностью 290 мВт. Делительная стеклянная пластина ДП позволяла отвести часть исходного лазерного пучка с интенсивностью I_C на фотодиод ФД-1 для контроля за изменением мощности пучка накачки

в процессе эксперимента. Пропускаемый пластиной пучок проходил через отверстие в экране, который использовался для визуального наблюдения пучков, отраженных от входной (при $z = -d$) и выходной (при $z = 0$) граней кристалла $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ с уровнем легирования 0,02% и толщиной 3 мм. Между экраном Э и кристаллом располагалась положительная сферическая (с фокусным расстоянием $F=120$ мм) или цилиндрическая ($F=110$ мм) линза Л, позволяющая сфокусировать пучок накачки в необходимое положение относительно входной грани кристалла при её перемещении вдоль оптической оси установки. Следует отметить, что фокусировка пучка накачки цилиндрической линзой осуществлялась в вертикальной плоскости. Картина интерференции пучка накачки с сигнальной волной, отраженной от выходной грани кристалла $z=0$, приводила к формированию в нем фоторефрактивной отражательной голограммы и соответствующему усилению или ослаблению этой сигнальной волны. Небольшая клиновидность образца позволяла отделить сигнальный пучок от пучка, отраженного от входной грани кристалла ($z = -d$), и с помощью делительной пластины ДП и фотодиода ФД-2 фиксировать временную зависимость его интенсивности $I_S(t)$ в процессе формирования отражательной голограммы.

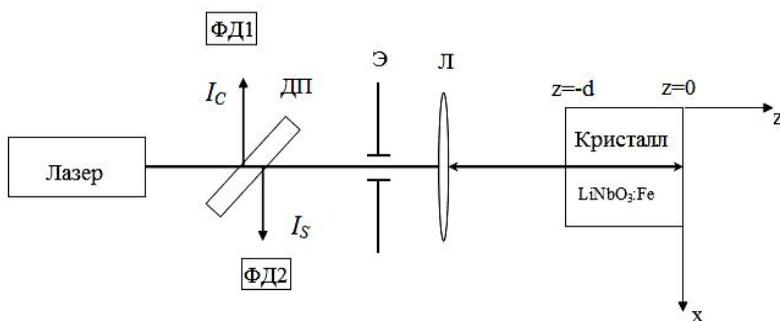


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:
 ДП – делительная пластина; Э – экран; Л – линза; ФД – фотодиод

Эксперименты по исследованию флуктуаций интенсивности сигнального пучка проводились для нескольких ориентаций используемого образца $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$. Было установлено, что резкие флуктуации интенсивности сигнального пучка, которые можно связать с электрическими пробоями в области локализации отражательной голограммы, наиболее уверенно наблюдались при использовании цилиндрической линзы, фокусирующей пучок накачки вдоль кристаллографической

оси Y , и для ориентации оси Z , соответствующей ослаблению отраженного пучка в процессе формирования голограммы. Характерные зависимости, отображающие временную эволюцию его интенсивности для таких условий эксперимента, представлены на рис. 2.

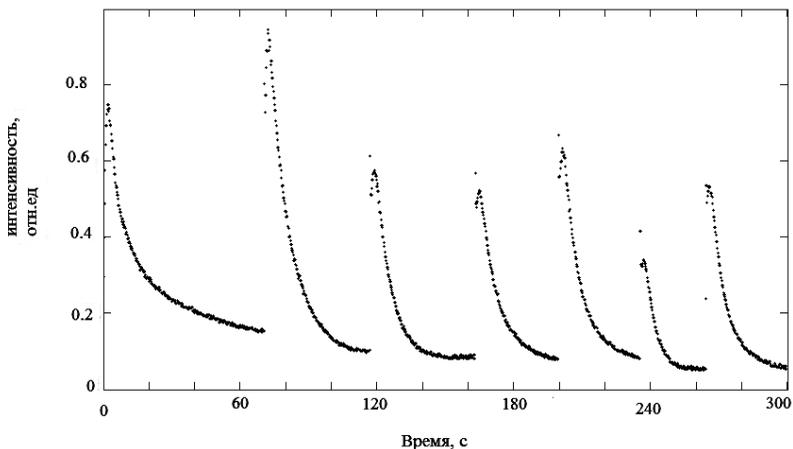


Рис. 2. Динамика изменения интенсивности сигнального пучка при формировании отражательной голографической решетки в кристалле ниобата лития

Работа выполнена при поддержке программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)» и ФЦП (госконтракт № 02.740.11.0553). Автор благодарит С.М. Шандарова за постановку задачи и научное руководство.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Rosenman G., Shur D., Krasik Ya.E., Dunaevsky A.* Electron emission from ferroelectrics // *J. Appl. Phys.* 2000. Vol. 88, № 11. 1 December.
2. *Месяц Г.А.* Электронная эмиссия из сегнетоэлектрических плазменных катодов // *Успехи физических наук.* 2008. Т. 178, №1. С. 85–108.
3. *Kukhtarev N.V., Kukhtareva T.V., Stargell G., Wang J.C.* Pyroelectric and photogalvanic crystal accelerators // *J. Appl. Phys.* 2009. Vol. 106. P. 014111.
4. *Reagan M., Lyuksyutov S.F., Galehouse D., Kukhtarev N.V., Kukhtareva T.* Peculiarities of ferroelectric emission from photorefractive z-cut LiNbO_3 // *Frontiers in Optics, OSA Technical Digest (CD)* (Optical Society of America, 2003), paper MT65.

ИНТЕРФЕРОМЕТР МАХА–ЦАНДЕРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В НЕЛИНЕЙНЫХ КРИСТАЛЛАХ

К.П. Мельник, М.В. Михайлова

Научный руководитель В.И. Быков, доцент, к.ф.-м.н.

г. Томск, ТУСУР, melnikkp@gmail.com

В ТУСУРе на кафедре электронных приборов существует направление исследования оптических нелинейных кристаллов, которые применяются в различных приборах – лазерах, интерферометрах и т.д. Необходимо знать их физические и оптические свойства – качество поверхности кристаллов, а также быть уверенным в отсутствии внутренних оптических неоднородностей.

Данная работа посвящена разработке на базе интерферометра Маха–Цандера устройства для измерения электрооптического коэффициента в оптических нелинейных кристаллах. В ней изображена общая схема устройства, проанализированы положительные и отрицательные свойства установки.

Изменение показателя преломления вещества под действием электрического поля называется электрооптическим эффектом. Различают линейный эффект (эффект Поккельса) и квадратичный электрооптический эффект (эффект Керра).

Изменение показателя преломления Δn определяется выражением [1]

$$\Delta n = n^3 r \frac{E}{2},$$

где r – линейный электрооптический эффект; n – показатель преломления вещества в отсутствие внешнего электрического поля; $E_{вн}$ – напряженность электрического поля. К таким кристаллам относятся наши исследуемые кристаллы.

Интерферометр Маха–Цандера удобен в целях измерения электрооптического эффекта, так как расстояние между зеркалами позволяет устанавливать образец произвольных размеров [2].

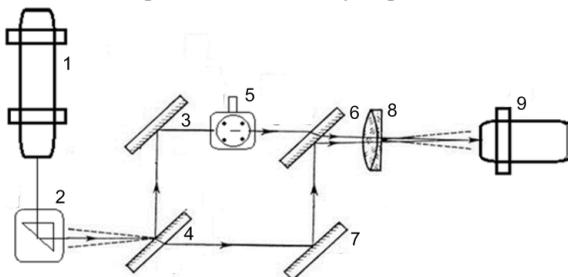


Рис. 1. Интерферометр Маха–Цандера

Интерферометр Маха–Цендера (рис. 1) состоит He-Ne лазера 1, свет которого отражается от поворотной призмы 2, полупрозрачных зеркал 4 и 6, зеркал 3 и 7. В одно из плеч интерферометра помещается образец в зажим 5; интерференционная картина сфокусирована собирающей линзой 8 на фотоприемник 9.

Для фиксации кристалла используется оптический столик, который изменяет положение образца в трех плоскостях. На него установлен каркас, нижняя и верхняя часть изготовлены из оргстекла, между собой скреплены металлическими шпильками. На нижней диэлектрической части зажима приклеена металлическая пластина на которой устанавливается образец, она изолирована от прямого контакта с кристаллом слюдой. Сверху же кристалл зажимается дюралюминиевым цилиндром, в который вкручена шпилька с пружиной, он изолирован от контакта с кристаллом слюдой.

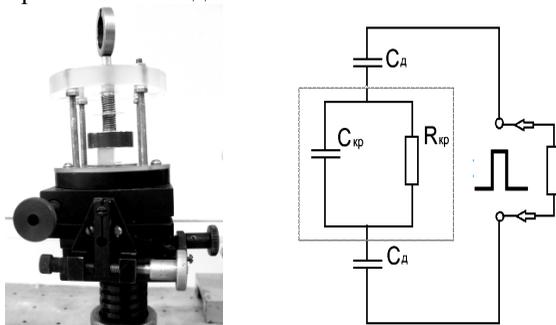


Рис. 2. Общий вид держателя образца (слева), эквивалентная схема кристалла (справа)

Необходимо, с одной стороны, подавать высокое напряжение (создавать необходимую напряженность электрического поля в кристалле) на образец, а с другой стороны, нельзя допустить разрушения образца. Поэтому поверхности образца изолируются пластинками слюды.

Данная схема зажима (рис. 2) прочная, можно быстро, легко и точно установить исследуемый образец и далее подать на него высокое напряжение $\approx 0,75 \div 2$ кВ, тем самым подействовать на кристалл электрическим полем.

В установке использовался фотоприемник (рис. 3).

Источником питания является аккумуляторная батарея типа «крона», используемый фотодиод (VD) – ФД-24. Сопротивление нагрузки 6 кОм, амперметр для измерения фототока включается с помощью тумблера. Вся схема помещается в дюралюминиевый корпус, чтобы избавиться от шумов.

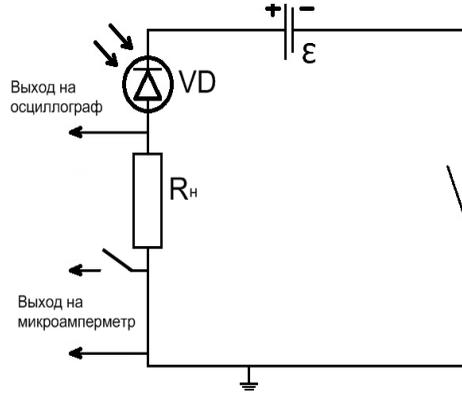


Рис. 3. Общий вид (слева), эквивалентная схема фотоприемника (справа)

В качестве регистрирующего устройства использовался цифровой двуканальный осциллограф OWON PDS 5022S.

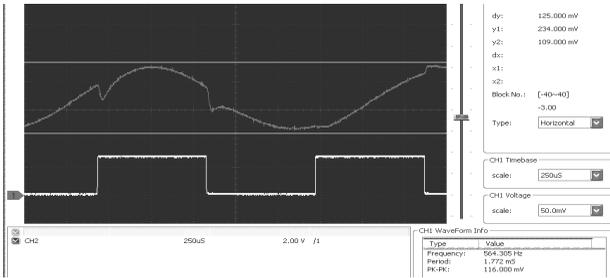


Рис. 4. Типичная экспериментальная осциллограмма

На рис. 4 верхний график отображает сигнал с фотоприемника, нижний график отображает переменный высоковольтный сигнал, подаваемый на кристалл. Электрооптический эффект проявляется во время действия емкостного тока. Это – особенность экспериментальной схемы.

Полученный электрооптический коэффициент [3]

$$r = \frac{2\Delta n}{n^3 E} = \frac{2\Delta\varphi\lambda d}{12\pi n^3 U} = \frac{2\Delta\varphi\lambda d}{2\pi n^3 U^2} = \frac{\Delta\varphi\lambda}{\pi n^3 U}$$

$$r = \frac{30 \cdot 0,6328 \cdot 10^{-6}}{180 \cdot 1,8^3 \cdot 400} \cdot 1 = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ м/В}.$$

Данная величина находится в хорошем соответствии в пределах экспериментальной погрешности с данными из справочника

$3,6 \cdot 10^{-11}$ м/В [4], что можно судить о том, что данная установка (схема) работает. С ее помощью можно измерять электрооптический коэффициент у любого оптического кристалла.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Скоков И.В.* Оптические интерферометры. М.: Машиностроение, 1979. 128 с.
2. *Захарьевский А.Н.* Интерферометры. М.: Оборонгиз, 1952.
3. *Ландсберг Г.С.* Оптика. М.: Наука, 1976.
4. *Блистанов А.А.* Кристаллы квантовой и нелинейной оптики: учеб. пособие для вузов. М.: МИСИС, 2000. 432 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В НЕЛИНЕЙНЫХ ОПТИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ НА БАЗЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА МАХА–ЦАНДЕРА

М.В. Михайлова, К.П. Мельник, студенты

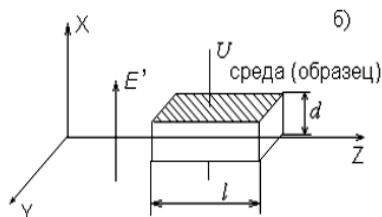
*Научный руководитель В.И. Быков, доцент, к.ф.-м.н.,
г. Томск, ТУСУР, marina_m-89@mail.ru*

В ТУСУРе на кафедре электронных приборов существует направление исследования оптических нелинейных кристаллов, которые применяются в различных приборах – лазерах, интерферометрах и т.д. Данная работа посвящена экспериментальному исследованию электрооптического эффекта в нелинейных оптических кристаллах на базе интерферометра Маха–Цандера.

Электрооптический эффект

Электрооптическим эффектом называют изменение показателя преломления вещества под действием электрического поля. Для обнаружения и исследования электрооптического эффекта используют плоскополяризованный свет, пропускаемый через кристалл так, чтобы он распространялся перпендикулярно направлению электрического поля.

Рис. 1. Схема электрооптического эффекта



Кристаллы КТР

Наибольшее распространение в нелинейной оптике и в электрооптике получили кристаллы КTiOPO4 (КТР). Кристалл КТР не подвер-

жен оптическому повреждению, приводящему к искажению формы фронтов оптических волн, обладает высокой лазерной прочностью, большими электрооптическими коэффициентами.

Свойства КТР:

Показатель преломления ($\lambda = 0,53 \text{ мкм}$) $n_z = 1,850$.

Электрооптические коэф-т, м/В(10^{-12}) $r_{33} = 36,3$.

Диэлектрическая проницаемость $\epsilon_{33} = 15,4$.

Интерферометр Маха–Цандера является наиболее удобным в целях измерения электрооптического эффекта, так как расстояние между зеркалами позволяет устанавливать образец произвольных размеров.

Интерферометр Маха–Цандера (рис. 3) состоит He-Ne лазера ($\lambda = 0,6328 \text{ мкм}$) 1, свет которого отражается от поворотной призмы 2, полупрозрачных зеркал 4 и 6, зеркал 3 и 5. В одно из плеч интерферометра помещается образец в зажим 5; интерференционная картина сфокусируется собирающей линзой 8 на фотоприемник 9.

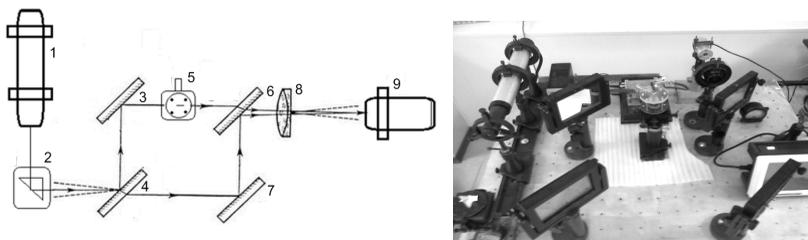


Рис. 2. Интерферометр Маха–Цандера

Методика расчета интерферограмм; расчет электрооптического коэффициента. В качестве регистрирующего устройства использовался цифровой двуканальный осциллограф OWON PDS 5022S.

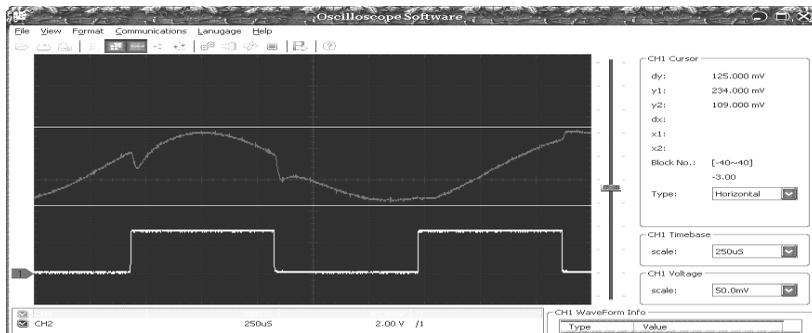


Рис. 3. Типичная экспериментальная осциллограмма

На рис. 3 показана типичная экспериментальная осциллограмма, первый (верхний) канал отображает сигнал с фотоприемника, второй (нижний) канал отображает переменный высоковольтный сигнал, подаваемый на кристалл. Интенсивность интерференционной картины (значения фототока) изменяется по закону

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1).$$

Здесь

$$\varphi_{1,2} = \arcsin \frac{I'_{1,2}}{A}; \quad A = 2\sqrt{I_1 I_2} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{2};$$

$$I'_{1,2} = I - I_{\text{cp}}; \quad I_{\text{cp}} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{2},$$

I – текущее значение фототока.

Изменение показателя преломления в зависимости от напряженности приложенного электрического поля описывается формулой

$$\Delta n = n^3 \gamma \frac{E}{2},$$

где r – линейный электрооптический эффект, n – показатель преломления вещества в отсутствие внешнего электрического поля; E – напряженность электрического поля.

Выразим электрооптический коэффициент

$$r = \frac{2\Delta n}{n^3 E} = \frac{2\Delta\varphi\lambda d}{12\pi n^3 U} = \frac{2\Delta\varphi\lambda d}{2\pi n^3 l U^2} = \frac{\Delta\varphi\lambda d}{\pi n^3 U l},$$

где $E = \frac{U}{d}$ – напряженность электрического поля.

По результатам экспериментальных исследований и расчетам получаем электрооптический коэффициент:

$$r = \frac{30 \cdot 0,6328 \cdot 10^{-6}}{180 \cdot 1,8^3 \cdot 400} \cdot 1 = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ м/В}.$$

Здесь:

$$\frac{\Delta\varphi}{\pi} = \frac{30^0}{180^0}; \quad U = 400\text{В}; \quad n^3 = 1,8^3; \quad d/l \approx 1,$$

d, l – соответственно высота и длина кристалла.

Данная величина находится в хорошем соответствии в пределах экспериментальной погрешности с данными из справочника $3,6 \cdot 10^{-11}$ м/В.

Заключение. В ходе проделанной работы были разработаны методика по измерению электрооптического коэффициента, методика

расчета интерферограмм и определения электрооптического коэффициента в нелинейных оптических кристаллах.. Измеренный по данной методике электрооптический коэффициент у кристалла КТР в пределах погрешности соответствует табличному значению.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Блистанов А.А.* Кристаллы квантовой и нелинейной оптики: учеб. пособие для вузов. М.:МИСИС, 2000. 432 с.
2. *Савельев И.В.* Курс общей физики: В 5 кн.: Кн. 4.: Волны. Оптика: учеб. пособие для вузов. М.: АСТ: Астрель, 2006. 256 с.
3. *Ландсберг Г.С.* Оптика. М.: Наука, 1976.

ФОРМИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ТРАНСПАРАНТОВ В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ ПРОЕКЦИОННЫМ МЕТОДОМ

М.В. Монахова, студент 5-го курса

Научный руководитель В.М. Шандаров, проф., д.ф.-м.н.

г. Томск, ТУСУР, каф. СВЧиКР, korona55@mail.ru

Преобразование профилей лазерных пучков представляет особый интерес в плане их практических приложений. Для этого могут использоваться как стационарные, так и реконфигурируемые оптические элементы [1, 2]. Последние могут формироваться в фоторефрактивных материалах двумя способами: проекционным и контактным оптическим индуцированием [1]. Проекционный способ обладает большей гибкостью, он позволяет формировать фазовые оптические транспаранты сложной конфигурации с масштабированием размеров.

Целью данной работы явилось исследование возможности проекционного оптического индуцирования фазовых элементов для преобразования мод гауссовых лазерных пучков в фоторефрактивных образцах ниобата лития (LiNbO_3).

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Для формирования фазовых транспарантов используется когерентное излучение твердотельного лазера на YAG:Nd^{3+} с удвоением частоты ($\lambda = 532$ нм, мощность 50 мВт). Необходимая апертура близкого к параллельному светового пучка обеспечивается коллиматором 2. Этот пучок освещает амплитудную маску 3, изображение которой с помощью цилиндрической линзы 4 проецируется на поверхность образца LiNbO_3 5) Фазовый транспарант представляет собой область кристаллического образца с изменением показателя преломления, обеспечивающим полуволновое изменение оптической длины пути света в

сравнении с ее величиной в других областях образца. Модуляция показателя преломления достигается путем экспонирования образца (5) световым полем с неоднородным распределением интенсивности, задаваемым топологией амплитудной маски. Время экспонирования составляло в разных экспериментах от 10 до 30 мин. Для контроля в реальном времени величины изменения показателя преломления в экспонируемой области в экспериментах используется излучение гелий-неонового лазера 7 с $\lambda=633$ нм, коллимированный пучок которого с поляризацией, соответствующей необыкновенной волне в кристалле, зондирует область образца с границей света и тени. Распределение интенсивности в поперечном сечении прошедшего пучка визуализируется с помощью видеокамеры (ВК) и персонального компьютера (ПК). В экспериментах топология индуцируемого фазового транспаранта задавалась амплитудными масками в виде узкой непрозрачной и прозрачной полосок, размещаемых так, чтобы граница областей пропускания и непропускания была перпендикулярна направлению оптической оси кристалла.

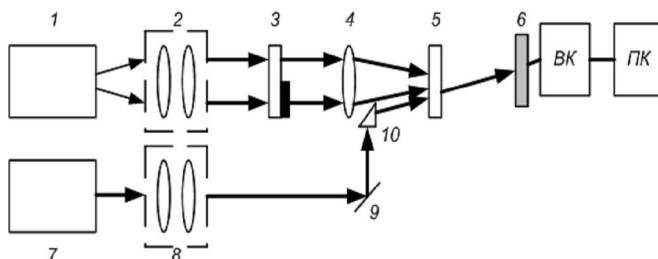


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – твердотельный лазер; 2, 8 – коллиматоры; 3 – амплитудная маска; 4 – цилиндрическая линза; 5 – образец LiNbO₃; 6 – фильтр; 7 – He-Ne лазер; 9, 10 – призмы; ВК – видеокамера; ПК – персональный компьютер

Некоторые из полученных результатов представлены на рис. 2 и 3. Изображения на рис. 2 иллюстрируют распределения интенсивности света в зондирующем пучке, прошедшем через образец до начала экспонирования и после индуцирования в нем фазового транспаранта с двойным скачком фазы по поперечному сечению этого пучка. На рис. 3 представлены соответствующие профили интенсивности зондирующего пучка. Время экспонирования составило 30 мин. На рис. 4 представлено распределение интенсивности света в зондирующем пучке, прошедшего через образец после индуцирования в нем фазового транспаранта в виде узкой непрозрачной полоски. На рис. 5 пред-

ставлен соответствующий профиль распределения интенсивности. Время экспонирования составило 10 мин. В данных экспериментах поверхностная область образца LiNbO_3 X-среза была легирована комбинацией ионами меди путем термической диффузии, так что толщина фоторефрактивного слоя составляла ~ 50 мкм.

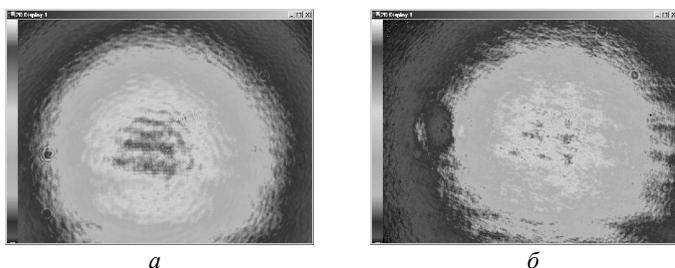


Рис. 2. Распределения интенсивности в прошедшем зондирующем пучке для фазового транспаранта в виде узкой прозрачной полоски: *а* – до экспонирования; *б* – после экспонирования образца

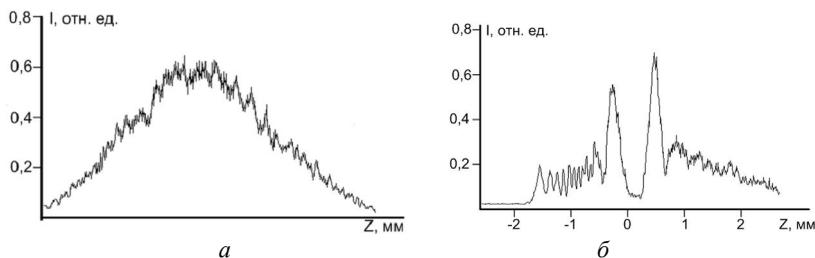


Рис. 3. Профили интенсивности в прошедшем зондирующем пучке для фазового транспаранта в виде узкой прозрачной полоски: *а* – до экспонирования; *б* – после экспонирования образца

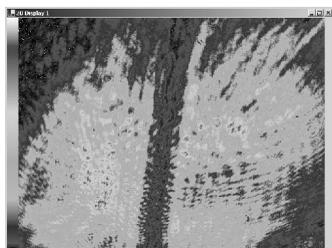


Рис. 4. Распределения интенсивности в прошедшем зондирующем пучке для фазового транспаранта в виде узкой непрозрачной полоски

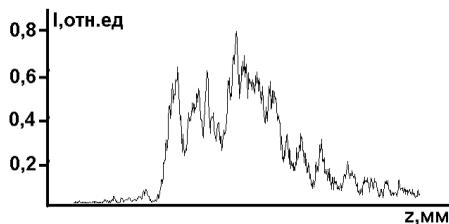


Рис. 5. Профиль интенсивности в прошедшем зондирующем пучке для фазового транспаранта в виде узкой непрозрачной полоски

Результаты экспериментов показывают, что проекционный оптический метод позволяет реализовать оптически реконфигурируемые фазовые транспаранты на основе фоторефрактивного ниобата лития для модификации профилей когерентных световых пучков.

Работа выполнена в рамках НИР РНП.2.1.1.429, НИР по госконтракту № 02.740.11.0553 и совместного проекта РФФИ-ГФЕН Китая (грант 11-02-91162-ГФЕН_a).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Gabriel Molina-Terriza and Lluís Torner*. Reconfigurable dynamic beam shaping in seeded frequency doubling // *Opt. Lett.* 2001. № 26. P. 154–156.
2. *Ярив А., Юх П.* Оптические волны в кристаллах. М.: Мир, 1987. 616 с.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕГО РАЗМЕРА ЧАСТИЦ ПО ИХ ГОЛОГРАММЕ

В.С. Николаенко, студент каф. ОЭС и ДЗ

*Научный руководитель В.В. Демин, доцент каф. ОЭС и ДЗ, к.ф.-м.н.
г. Томск, ТГУ, greenberg@sibmail.com*

В большинстве методов с голограммы объема среды, содержащего частицы, восстанавливают изображение каждой частицы, определяют ее размер, форму, координаты, идентифицируют ее, а затем определяют требуемые интегральные характеристики ансамбля частиц, например: концентрацию, средний размер, распределение частиц по размерам, по пространству и т.п. В то же время во многих задачах требуется оперативно определить только средний размер или распределение частиц по размерам, а детальное изучение можно проводить через некоторое время.

При фокусировке излучения, прошедшего через голограмму, записанную на фотопластину по осевой схеме, в плоскости фокусировки будут наблюдаться две вложенные картины [1]. В данной работе в качестве ансамбля рассматривается монослой монодисперсных, непрозрачных частиц, что позволяет четко визуализировать вышеупомянутые картины.

Внешней картиной распределения интенсивности будем называть картину, идентичную той, которая наблюдается при фокусировке излучения, рассеянного непосредственно на ансамбле частиц. По этой картине можно определить средний размер частиц, а именно по радиусу первого (от центра) кольца распределения интенсивности в плоскости фокусировки. В центре внешней картины наблюдаются высокочаст-

точные концентрические кольца. Данную картину распределения интенсивности будем в дальнейшем называть внутренней картиной распределения интенсивности. Изучая внутреннюю картину, можно получить информацию о расстоянии от плоскости объекта до плоскости регистрации на этапе регистрации голограммы.

Для исследования распределения интенсивности использовались модельные частицы круглой формы, изготовленные методом фотолитографии и нанесенные на стеклянную подложку размером 40*40 мм. Частицы имеют одинаковый размер $100 \pm 0,8$ мкм. Количество частиц на подложке равно 3500. Запись голограмм от монослоя модельных частиц производилась по осевой схеме на различных расстояниях: 100, 200 и 400 мм.

Зарегистрированные голограммы H (или ансамбль частиц A) освещались коллимированным лазерным пучком (рис. 1). Пучок, прошедший голограмму, фокусировался при помощи линзы F с фокусным расстоянием $f = 800 \pm 0,5$ мм. Распределение интенсивности в плоскости фокусировки регистрировалось ПЗС-камерой (CCD).

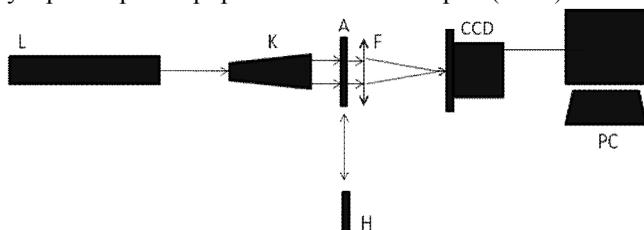


Рис. 1. Схема регистрации распределения интенсивности ПЗС-камерой

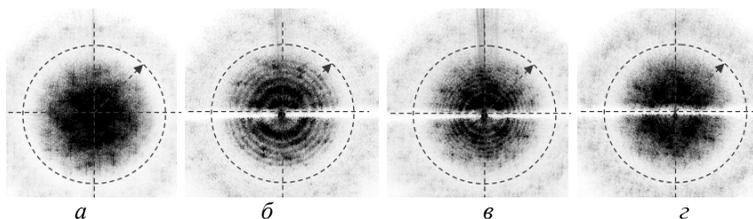


Рис. 2. Распределение интенсивности внешней картины для ансамбля частиц — а; распределения интенсивности внешней картины для голограмм, записанных на расстояниях: б — 100 мм, в — 200 мм, г — 400 мм

На рис. 2 приведены внешние картины от ансамбля частиц и от голограмм, записанных на различных расстояниях.

Оценим радиус первого (от центра) светлого кольца внешней картины r_1 (картины Эйри) [1]:

$$r_1 = 1,22 \frac{\lambda f}{d} = 1,22 \frac{532 \cdot 10^{-9} \cdot 800 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-6}} = 5,1 \text{ мм},$$

где λ – длина волны; f – фокусное расстояние линзы; d – диаметр частиц.

Размер пикселя ПЗС-матрицы равен 7,4 мкм. Тогда радиус кольца внешней картины равен $r_1 = 701$ пиксель.

Концентрические кольца внутренних картин от голограмм, записанных на расстояниях 100 и 200 мм, были визуализированы путем уменьшения интенсивности лазерного излучения с помощью нейтральных светофильтров.

Оценим характерный масштаб внутренней картины (радиус первого светлого кольца), который связан с размером первой зоны Френеля $r_f = \sqrt{\lambda z}$:

$$r_2 = 1,22 \frac{\lambda f}{2r_f} = 1,22 \frac{\lambda f}{2\sqrt{\lambda z}} = 0,61 f \sqrt{\frac{\lambda}{z}},$$

где z – расстояние от фотоматериала до плоскости объекта на этапе регистрации голограммы: $r_2(z_1) = 1,1$ мм или 152 пикселя, $r_2(z_2) = 0,7$ мм или 107 пикселей, $r_2(z_3) = 0,5$ мм или 76 пикселей.

Сравним рассчитанные значения с экспериментальными данными (табл. 1, 2).

Т а б л и ц а 1

Значения радиуса первого кольца внешней картины

	Для 100 мм, пиксель	Для 200 мм, пиксель	Для 400 мм, пиксель	Для ансамбля, пиксель
Радиус первого кольца	700 ± 1	701 ± 1	699 ± 1	701 ± 1

Т а б л и ц а 2

Значения радиуса первого кольца для внутренней картины

	Для 100 мм, пиксель	Для 200 мм, пиксель
Радиус первого кольца	154 ± 1	108 ± 1

Экспериментальные значения совпадают с расчетными с точностью 1–2 пикселя. Таким образом, внешняя картина связана с размером частиц, а внутренняя картина – с расстоянием от плоскости объекта до плоскости регистрации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Borovoi A.G., Dyomin V.V., Vagin N.I., Donchenko V.A. Fresnel's Rings on Reconstruction of Scattering Media Holograms// Applied Optics. 1995. Vol. 34, № 20. P. 4073–4078.

ЭЛЕКТРОННЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОГЕТЕРОСТРУКТУР Ge/Si

В.А. Новиков, м.н.с. НОЦ «Нанозлектроника»

г. Томск, ТГУ, brudnyi@mail.tsu.ru

Плотные массивы малых (с размерами менее 10 нм) квантовых точек (КТ) германия в кремнии привлекают большое внимание при разработке оптических устройств – излучателей и приемников ИК-диапазона. В основе получения КТ германия в кремнии с использованием технологии молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) лежит эффект «самоорганизации» квантовых точек – их размерного и пространственного упорядочения. Данный эффект обусловлен минимизацией в процессе МЛЭ свободной энергии гетеросистемы Ge/Si, для которой несоответствие кристаллических решеток Ge и Si составляет ~ 4%, что проявляется в формировании КТ германия предпочтительных размеров, формы и однородности их распределения в кремниевой матрице.

При выращивании многослойных эпитаксиальных кремниевых структур квантовые точки германия нижнего слоя создают локальные упругие деформации (микрострессоры), которые распространяются на верхние зарастаемые слои кремния, в области которых и происходит преимущественное зарождение «новых» квантовых точек германия. Таким способом получают многослойные эпитаксиальные гетероструктуры с вертикально упорядоченными массивами квантовых точек германия, которые представляют большой интерес при разработке приборов оптоэлектроники.

Малые квантовые точки являются также идеальными объектами для проведения точных расчетов и анализа электронных состояний и оптических свойств таких точек на основе фундаментальных методов, и развития теоретических моделей «квазиатомов», в которых интерфейсная и внутренняя области квантовой точки играют важную роль в физических свойствах материала. Такие расчеты позволяют выявить закономерности в изменении электронных состояний и оптических спектров полупроводникового материала в зависимости от размеров и плотности малых квантовых точек и «сшить» полученные решения с данными приближенных расчетов, обычно используемых при анализе соответствующих данных «больших» квантовых точек.

Показано, что квантовые точки Ge заметно меняют состояния вблизи потолка валентной зоны кристаллического Si, но слабо влияют на состояния его края зоны проводимости. Это обусловлено тем, что напряженные германиевые КТ выступают глубокими квантовыми ямами для дырок, но сравнительно невысокими барьерами для электронов. Поэтому электроны и дырки локализуются по разные стороны

от гетерограницы Ge/Si. При этом потенциал возмущения выталкивает из валентной зоны в запрещенную зону кремния полностью заполненные электронами глубокие уровни, возникающие за счет «взаимодействия» резонансных состояний одиночных гетероструктурных дефектов Ge_{Si}. Энергии уровней квантовых точек монотонно увеличиваются с ростом числа атомов германия в КТ и приближаются ко дну квантовой ямы (потолку валентной зоны деформированного Ge). И, наоборот, при уменьшении размеров германиевых квантовых точек глубокие уровни дырочного размерного квантования сдвигаются к потолку валентной зоны кристаллического кремния [1].

Поскольку ширина минимальной запрещенной зоны объемного Ge (0,66 эВ) меньше ширины запрещенной зоны Si (1,12 эВ) вблизи 300 К, поэтому КТ германия, встроенные в матрицу кристаллического кремния, формируют квантовые ямы, в которые могут захватываться носители заряда. Наличие квантовых ям приводит к появлению межзонных оптических переходов, носителей заряда с энергетических состояний, сформированных квантовыми точками германия, в энергетические зонные состояния кристаллического кремния. Выявлены особенности в спектрах оптического поглощения кремния с квантовыми точками германия связанные с непрямыми электронными переходами между заполненными резонансными и щелевыми уровнями германиевых квантовых точек и объемными состояниями нижней зоны проводимости кристаллического кремния. Проанализирована схема возможных оптических переходов участвующих в формировании спектров «примесного» оптического поглощения кремния с квантовыми точками германия. [2]. Наличие «дополнительного» поглощения в кремнии с квантовыми точками германия приводит к сдвигу области оптического поглощения для наногетероструктуры Ge/Si относительно соответствующих оптических областей объемных кристаллов кремния и германия. Изменяя размер квантовых точек германия, можно в определенной мере изменить область спектральной чувствительности наногетероструктуры Ge/Si. Так, с увеличением размеров КТ германия в кремнии уровни локализованных состояний квантовых точек смещаются вглубь запрещенной зоны кристаллического кремния, что вызывает «красный» сдвиг края оптического поглощения материала на основе наногетероструктуры Ge/Si. Подача электрического смещения на фотовозбужденную систему Ge/Si приводит к появлению электрического сигнала, который может быть зарегистрирован, а сама структура может быть использована в качестве фотоприемного устройства.

Это позволяет непрямозонным германию и кремнию перейти в класс «оптических» материалов и тем самым расширить область использования данных полупроводников в производстве оптоэлектрон-

ных устройств. Это тем более важно, поскольку при этом сохраняется базовая кремниевая технология микроэлектроники. Поэтому многослойные эпитаксиальные наногетероструктуры Ge/Si представляют большой интерес при разработке полупроводниковых фотоприемных устройств ближней ИК-области оптического спектра.

С учетом расчетных данных разработана конструкция экспериментального фотоприемного устройства на основе многослойной кремниевой наногетероструктуры с квантовыми точками германия. Фоточувствительные слои такой структуры представляли собой массивы квантовых точек германия размерами менее 10 нм в кремнии, с поверхностной плотностью около $(0,1-10) \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$, на которые эпитаксией наращивается буферный слой собственного кремния с последующим напылением слоя золота (Au) и его сплавлением для формирования омического контакта. Проведено измерение частотно-временных характеристик экспериментальных фотоприемных устройств на основе многослойных наногетероструктур Ge/Si.

Работа выполнена при поддержке программы АВЦП № 2.1.2/13608 «Высокочастотный фотоприемник на основе многослойной гетероструктуры Ge/Si».

ЛИТЕРАТУРА

1. Брудный В.Н., Гриняев С.Н., Ивонин И.В. // Изв. вузов. Физика. 2010. Т. 53, № 9/3. С. 190–191.
2. Брудный В.Н., Гриняев С.Н. // Изв. вузов. Физика. 2010. Т. 53, № 7. С. 43–45.

НЕЛИНЕЙНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ ПРИ ГОЛОГРАФИЧЕСКОМ ФОРМИРОВАНИИ ФОТОННЫХ СТРУКТУР В ФПМ-МАТЕРИАЛАХ

*А.В. Лисовский, М.А. Ольджебаев, А.О. Семкин, студенты
С.Н. Шарангович, зав. каф. СВЧиКР
г. Томск, ТУСУР, shr@tusur.ru*

Процесс голографического формирования дифракционных решеток в фотополимерных материалах (ФПМ) сопровождается процессами временной модуляции интенсивности световых пучков. В работе [1] описанный эффект объясняется механическими вибрациями, процессами двухпучкового взаимодействия и изменением коэффициента пропускания в процессе записи.

Целью данной работы является экспериментальное и теоретическое исследование пространственной и временной модуляции свето-

вых пучков в процессе формирования фотонных структур в ФПМ материалах, обусловленной эффектом самовоздействия света в нелинейном интерферометре Фабри-Перо [2].

Экспериментальное исследование. Экспериментальное исследование модуляции световых пучков проводилось на образцах ФПМ при гауссовом распределении интенсивности падающего пучка. В эксперименте использовались образцы ФПМ, изготовленные в ООО «Полимерные голограммы – Новосибирск».

В ходе эксперимента наблюдались как временные осцилляции (модуляция) общей интенсивности, так и изменения амплитудных профилей записывающих пучков на выходе ФПМ (рис. 1, 2).

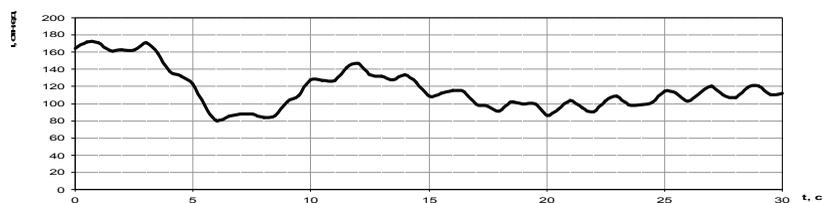


Рис. 1. Временная модуляция

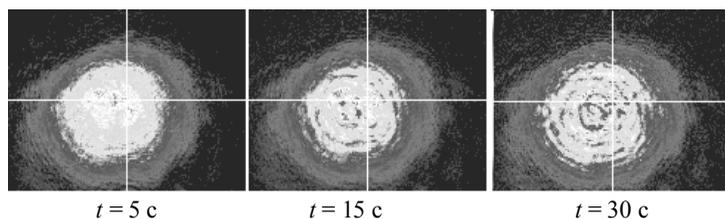


Рис. 2. Пространственная модуляция.

Используемая экспериментальная установка позволяет свести к минимуму влияние на пространственно-временную модуляцию пучков факторов, описанных в работе [1]. В связи с этим был изучен дополнительный вклад самовоздействия света в нелинейном интерферометре Фабри-Перо (ИФП), образованном в образце ФПМ, в описанные процессы. Нелинейность интерферометра обусловлена фотополимеризационными процессами, а именно зависимостью показателя преломления материала от распределения интенсивности падающего света.

Численное моделирование. Для описания наблюдаемых эффектов использовалась математическая модель нелинейного резонатора Фабри-Перо [2]. Данная модель была модифицирована с учетом зависимости показателя преломления от интенсивности света, полученной

решением уравнений фотополимеризационной кинетики формирования фотонных структур в ФПМ [3]. При этом пучок на выходе ИФП на основе ФПМ описывается выражениями:

$$I_{\text{вых}} = I_{\text{вх}}(x, y, t) \cdot \frac{(1 - R^2)^2}{1 + R^4 - 2R^2 \cdot \cos(2k \cdot n(x, y, t) \cdot L \cdot \cos(\varphi))}; \quad (1)$$

$$n(x, y, t) = n_0 + \delta n_p \left(1 - e^{\frac{-t}{T_p(x, y)}}\right), \quad (2)$$

где $I_{\text{вх}}(x, y)$ – распределение интенсивности падающего пучка (закон Гаусса); R – коэффициент отражения; k – волновое число; L – толщина пленки ФПМ; φ – угол падения пучка; n_0 – показатель преломления материала в начальный момент времени; δn_p – коэффициент, определяющий изменения показателя преломления вследствие фотополимеризации; $T_p(x, y)$ – параметр, отражающий зависимость скорости фотополимеризационных процессов от интенсивности света; t – время эксперимента; x, y – пространственные координаты.

В качестве примера результаты моделирования временной трансформации амплитудных профилей и общей интенсивности записывающих пучков на выходе ФПМ, кинетики формирования дифракционных структур приведены на рис. 3.

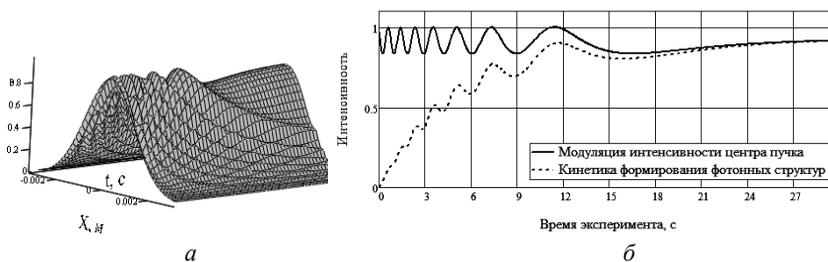


Рис. 3. Модуляция световых пучков в процессе формирования фотонных структур: *а* – временная трансформация амплитудных профилей пучка; *б* – кинетика формирования фотонных структур

Изменение двумерных профилей интенсивностей световых пучков на выходе образца ФПМ, полученное в результате моделирования, показано на рис. 4.

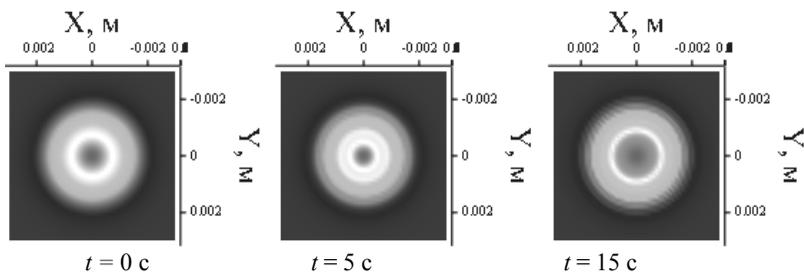


Рис. 4. Распределение интенсивности пучка света: пучок света на входе фотонной структуры (гауссово распределение) и пучок света на выходе фотонной структуры

Заключение. В работе исследовались процессы временной и пространственной модуляции световых пучков в процессе формирования фотонных структур в ФПМ. По результатам проведенных исследований был подтвержден дополнительный вклад в изменение общей интенсивности и амплитудных профилей пучков на выходе образца ФПМ за счет самовоздействия света в нелинейном ИФП.

Работа выполнена по проекту № РНП.2.1.1.429 программы «Развитие научного потенциала высшей школы» на 2011 г. и НИР по госконтракту № 02.740.11.0553 ФЦП «Научные и педагогические кадры инновационной России».

ЛИТЕРАТУРА

1. Gleeson M.R., Kelly J.V., O'Neill F.T., Sheridan J.T. Recording beam modulation during grating formation // Applied Optics. 2005. Vol. 44, №26. P. 5475–5482.
2. Гиббс Х.М. Оптическая бистабильность. Управление светом с помощью света: Пер. с англ. / Х.М. Гиббс; пер.: С.П. Апасевич, Ф.В. Карпушко; ред. пер.: Ф.В. Карпушко. М.: Мир, 1988. 518 с.
3. Довольнов Е.А., Пен Е.Ф., Шарангович С.Н., Шелковников В.В. // Изв. вузов. Физика. 2004. № 7. С. 78–87.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВКЛАДА ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИФРАКЦИИ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ В КРИСТАЛЛАХ НИОБАТА ЛИТИЯ

А.Н. Парханюк, студент

*Научный руководитель В.М. Шандаров, проф. каф. СВЧМКР, д.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. СВЧМКР, xfrjyhbc@mail.ru*

Существуют некоторые материалы, которые обладают электрической поляризацией при отсутствии внешнего электрического поля,

такие кристаллы называются пьезоэлектриками. Подобные материалы находят широкое применение в качестве основы для сенсорных элементов различного назначения, детекторов излучения, датчиков теплотеметрических приборов. Пьезоэлектрический эффект может также вносить вклад в характеристики нелинейно-оптических эффектов в сегнетоэлектрических кристаллах. Так, недавно продемонстрировано влияние пьезоэлектрического эффекта на дифракцию светового пучка в фоторефрактивном кристалле ниобата лития [1, 2]. Целью данной работы является исследование влияния пьезоэлектрического эффекта на характеристики поведения световых пучков в кристаллических образцах ниобата лития, как номинально чистых, так и легированных медью (Cu) и железом (Fe).

На рис. 1 представлена схема экспериментов. Излучение непрерывного твердотельного лазера $YAG:Nd^{3+}$ 1 с удвоением частоты ($\lambda = 532$ нм) и выходной мощностью до 50 мВт с помощью линзы 2 фокусируется на входную плоскость кристаллического образца $LiNbO_3$ 4, размещенного на нагревателе, при этом длина исследуемых образцов вдоль оптической оси составляла от 5 до 8 мм. В качестве нагревателя использовался элемент Пельтье 5, с помощью нагревателя температура кристалла могла повышаться до 95 °С. Температура образца контролируется термопарой. Поляризация света соответствует необыкновенной волне в кристалле. Изображение выходной грани образца с помощью линзы 6 проецируется на анализатор световых пучков (ПЗС-камеру) 7. Микрометрический столик 3 позволяет смещать исследуемый образец в поперечном направлении относительно светового пучка.

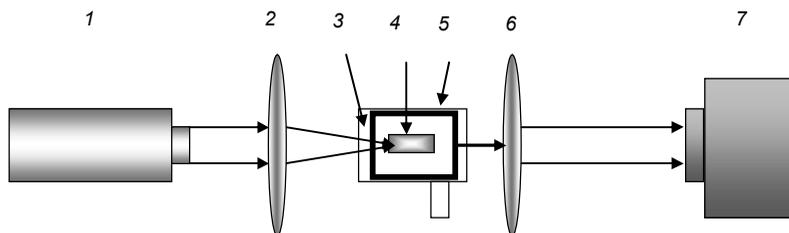


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – твердотельный $YAG:Nd^{3+}$ лазер; 2, 6 – фокусирующие линзы; 3 – микрометрический столик; 4 – образец $LiNbO_3$; 5 – нагревательный элемент; 6 – фокусирующая линза; 7 – ПЗС-камера

Изображения, представленные на рис. 2, иллюстрируют некоторые результаты экспериментов для номинально чистого образца $LiNbO_3$.

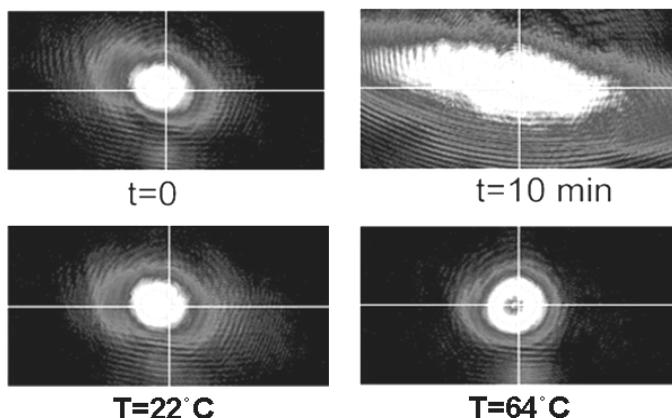


Рис. 2. Картины световых полей на выходной грани образца без нагревания (сверху) и с нагреванием (снизу), мощность оптического излучения 50 мкВт, диаметр входного пучка 30 мкм

Эксперименты проходили в 2 этапа. Вначале изучались световые картины на выходной плоскости при комнатной температуре. Затем эксперимент повторялся при однородном нагреве образца. На рис. 2 приведены картины световых полей на выходной грани номинально чистого кристалла ниобата лития LiNbO_3 (верхний ряд – без нагревания, нижний – с нагреванием). На представленных изображениях видна существенная разница между результатами этих экспериментов. Фоторефрактивная нелинейность в LiNbO_3 носит самодефокусирующий характер, поэтому в освещенной области формируется динамическая нелинейная отрицательная линза, увеличивающая расходимость светового поля в направлении транспорта носителей заряда, что заметно на верхней левой картине, в то время как в условиях однородного нагрева образца наблюдается полная компенсация нелинейной дифракции светового пучка.

Компенсацию дифракции можно объяснить рядом эффектов, возникающих при воздействии на кристалл тепла и света: пирозлектрическим эффектом, приводящим к светоиндуцированному изменению показателя преломления среды [3], возрастанием удельной проводимости среды и влиянием термооптического эффекта (в случае значительного поглощения света в материале и высокой его интенсивности).

Работа выполнена в рамках НИР РНП.2.1.1.429, НИР по госконтракту № 02.740.11.0553 и совместного проекта РФФИ-ГФЕН Китая (грант 11-02-91162-ГФЕН_а).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Safitoui J., Devaux F., and Chauvet M.* // Optics Express. 2009. № 17. P. 22209.
2. *Kostritskii S.M., Sevostyanov O.G., Aillerie M. and Bourson.* Suppression of photorefractive damage with aid of steady-state temperature gradient in nominally pure LiNbO_3 crystals // J. Appl. Phys. 2008. Vol/ 104 (11). P. 114104–114114.
3. *Желудев И.С.* Физика кристаллических диэлектриков. М.: Наука, 1968. 459 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ АВТОСОЛИТОННОГО РЕЖИМА В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ ФАБРИ-ПЕРО

А.С. Перин, студент 5-го курса

*Научный руководитель В.М. Шандаров, д-р ф.-м. наук, профессор
г. Томск, ТУСУР, каф. СВЧуКР, perin@sibmail.com*

Пространственные и временные оптические солитоны, т.е. световые пучки или импульсы, для которых вызванное дифракцией или дисперсией линейное расширение компенсируется нелинейной фокусировкой, служат ярким примером самоорганизации когерентного излучения и формирования частицеподобных структур поля. Не менее важен их потенциал для оптической обработки информации, поскольку солитоны представляют собой естественные единицы информации. Более полно изучены консервативные солитоны, в которых потери излучения пренебрежимо малы, приток энергии отсутствует и локализация является следствием баланса дифракции для пучка и/или дисперсии для импульса и нелинейности среды. Другой тип солитонов – автосолитоны, или диссипативные оптические солитоны (ДОС). ДОС существенно отличаются от консервативных солитонов, прежде всего дискретностью спектра основных характеристик. Тем самым подавляется дрейф параметров солитонов под действием флуктуаций и достигается их особая устойчивость, что перспективно для ряда приложений [1]. Кроме того, нелинейно-оптические эффекты в дискретных структурах могут явиться основой для создания полностью оптических элементов фотоники для систем оптической памяти, оптической обработки информации и оптической связи.

Целью данной работы является исследование возможности реализации режима автосолитонов в нелинейном интерферометре Фабри-Перо (ИФП) на основе фоторефрактивного ниобата лития (LiNbO_3).

В ИФП распространение светового пучка происходит между зеркалами, помещёнными вблизи нелинейной среды, которые ограничивают пучок в конечном слое материала. Реальные зеркала и среды обладают потерями, но потери можно компенсировать «подпиткой» ограниченного в резонаторе пучка внешним полем. Для математического описания данного явления используют нелинейное уравнение Шрёдингера (НУШ). Обычное НУШ описывает бесконечную нелинейную среду. Поэтому соответствующая модель типа НУШ должна включать члены, учитывающие внешнее поле и потери [2].

В схемах с нелинейным интерферометром, возбуждаемым когерентным излучением, размещается нелинейная среда, а извне интерферометр подпитывается когерентным лазерным излучением. Ввиду резонансного увеличения интенсивности поля внутри добротного интерферометра когерентные пространственные структуры реализуются уже при сравнительно низкой интенсивности внешнего сигнала. Для такой резонаторной схемы оптическую нелинейность среды можно считать локальной. Сама нелинейность может быть почти любой – Керровской, насыщаемой или квадратичной нелинейностью показателя преломления [3].

В экспериментах исследовался кристалл ниобата лития – объемно-легированный ионами железа ($\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ 0,05%). Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. В качестве источника когерентного излучения использовался непрерывный твердотельный лазер ($\text{YAG}:\text{Nd}^{3+}$, длина волны света $\lambda = 532$ нм, диапазон варьирования выходной мощности 0÷50 мВт). Форма поперечного сечения лазерного пучка являлась круговой (с диаметром около 0,5 мм).

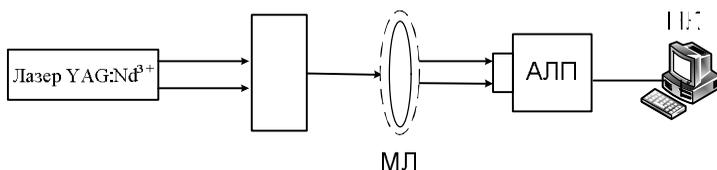


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: НЛ – образец ниобата лития; МЛ – масштабирующая линза; АЛП – анализатор лазерных пучков; ПК – персональный компьютер

Световой пучок проходил через пластину LiNbO_3 Z-среза (НЛ) толщиной 3 мм в направлении нормали к ее плоскости. Мощность лазерного излучения составляла при этом единицы милливатт. Пучок света, прошедший ИФП, увеличивался линзой (МЛ), а распределение интенсивности света изучалось с помощью анализатора лазерных

пучков BS-FW-FX33 (АЛП), сопряженного с персональным компьютером (ПК).

Эволюция пространственного распределения интенсивности света в прошедшем ИФП световом пучке с круговым сечением иллюстрируется картинами его поля, полученными с помощью анализатора лазерных пучков, представленными на рис. 2.

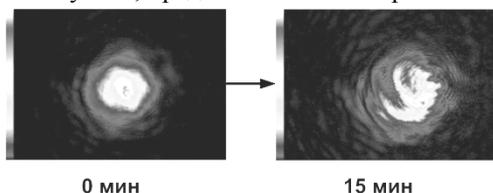


Рис. 2. Картины распределения интенсивности света в прошедшем ИФП световом пучке с круговым поперечным сечением ($P_{in} = 1 \text{ мВт}$, $t = 15 \text{ мин}$)

В начальный момент времени (рис. 2, $t = 0 \text{ мин}$) данный пучок характеризуется гауссовым профилем. После экспонирования в течение нескольких минут при световой мощности 1 мВт и диаметре пучка 0,5 мм распределение интенсивности в его поперечном сечении существенно изменяется, в его центральной области появляется провал. Спустя несколько минут после начала экспонирования образца однородным лазерным лучом, установилась отчетливая картина спиралевидной формы (рис. 2, $t = 15 \text{ мин}$), в которой от центрального максимума по спирали расходились хвосты с меньшей интенсивностью.

Полученный результат привлекает внимание с точки зрения солитонной интерпретации. На рис. 3, б приведена картина светового поля, полученная в эксперименте [4] при прохождении лазерного луча через резонатор, заполненный азотом, содержащим пары натрия. Распределение поля представляет собой самолокализованную структуру в нелинейной диссипативной оптической системе.

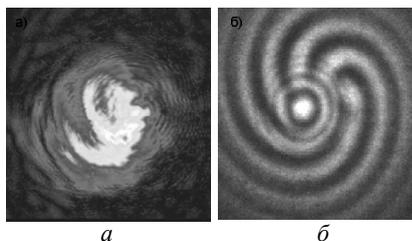


Рис. 3. Картины светового поля:
а – экспериментальная;
б – из зарубежного источника [4]

Проводя качественное сравнение (рис. 3, а и б), можно увидеть характерные черты сходства полученных картин. Таковыми являются центральные максимумы, а также спиралевидные хвосты, исходящие из центра пика.

Данное обстоятельство позволяет сделать предположение о существовании локализованных структур в виде диссипативных солитонов в нелинейном ИФП на основе фоторефрактивного ниобата лития.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (НИР РНП.2.1.1.429, НИР по госконтракту № 02.740.11.0553) и в рамках совместного проекта РФФИ-ГФЕН Китая (грант 11-02-91162-ГФЕН_a).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Rozanov N.N.* Dissipative optical solitons // Phys. Usp. 2000. Vol. 43. P. 421–424.
2. *Кившарь Ю.С.* Оптические солитоны / Ю.С. Кившарь, Г.П. Агравал. М.: Физматлит, 2005. 648 с.
3. *Розанов Н.Н.* Обработка информации оптическими методами. СПб.: СПб ГУИТМО, 2009. 70 с.
4. *Ackemann T.* Self-organization phenomena in nonlinear optical systems / T. Ackemann et al. // ENOC. 2005.

ФОТОИНДУЦИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В КРИСТАЛЛЕ $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Ca,Ga}$, НАВЕДЕННЫЕ ИНФРАКРАСНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

*В.В. Попугаева, О.А. Русякина, В.Г. Дю, студентки,
А.С. Акрестина, аспирантка каф. ЭП*

*Научный руководитель М.Г. Кистенева, к.т.н., каф. КУДР
г. Томск, ТУСУР, ФЭТ, aka_83@mail.ru*

Кристаллы класса силленитов $\text{Bi}_{12}\text{MO}_{20}$ ($M = \text{Si}, \text{Ge}, \text{Ti}$) характеризуются широкой полосой поглощения в видимой и ближней ИК-области спектра [1]. Известно, что облучение как чистых, так и легированных кристаллов титаната висмута $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ светом из этих областей приводит к обратимым изменениям оптического поглощения [1–4].

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований спектральной зависимости изменений оптического поглощения в диапазоне 430–840 нм для кристалла $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Ca,Ga}$ после засветки его импульсным лазерным ИК-излучением с длиной волны $\lambda_e = 1064$ нм. Спектры поглощения регистрировались с помощью спектрофотометра Genesis 2, все эксперименты проводились при комнатной температуре. Интенсивность лазерного излучения изменялась в диапазоне от 9 до 256 мВт/см².

На рис. 1 представлены спектральные зависимости оптического поглощения кристалла $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Ca,Ga}$ в исходном состоянии (кривая 1) и после воздействия в течение 1 мин ИК-излучением с $\lambda = 1064$ нм и интенсивностью 68 мВт/см² (кривая 2). Можно видеть, что такое облу-

чение приводит к увеличению оптического поглощения кристалла в области 430–590 нм и его снижению в интервале 610–840 нм.

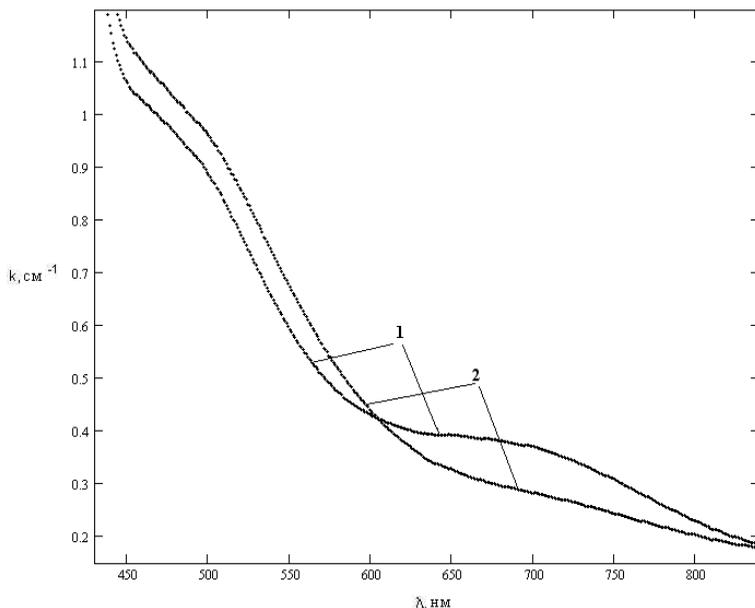


Рис. 1. Экспериментальные спектральные зависимости коэффициента поглощения в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Ca,Ga}$ до (1) и после (2) облучения в течение 1 мин светом с $\lambda = 1064$ нм с интенсивностью $I = 68$ мВт/см²

Зависимости наведенных изменений поглощения при воздействии ИК-излучения, полученные вычитанием коэффициента поглощения облученного кристалла из коэффициента поглощения кристалла в исходном состоянии, представлены на рис. 2.

Наведенные изменения в поглощении демонстрируют резонансный характер с экстремумами при $\lambda_m = 540$ и 690 нм. Величина изменений возрастает с увеличением интенсивности ИК-излучения. Максимальные изменения в поглощении наблюдались уже при интенсивности излучения 68 мВт/см² и составили $\sim 0,09$ см⁻¹, при значениях коэффициента поглощения для исходного состояния $0,65$ см⁻¹ для $\lambda_m = 540$ нм и $0,47$ см⁻¹ для $\lambda_m = 690$ нм.

Увеличение интенсивности ИК-излучения от 68 до 256 мВт/см² не приводит к дальнейшему заметному увеличению наведенных изменений в спектре оптического поглощения. Через 90 мин после воздействия излучением с интенсивностью 9 мВт/см² происходит релаксация коэффициента поглощения в исходное состояние. При увеличении

интенсивности излучения до 68 мВт/см^2 время релаксации наведенных изменений увеличивается до 6 ч.

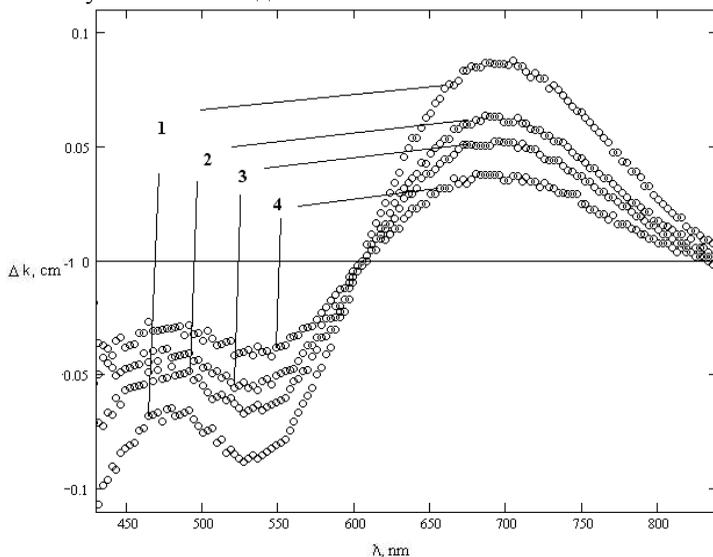


Рис. 2. Экспериментальные спектральные зависимости наведенных изменений оптического поглощения в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Ca}, \text{Ga}$ после облучения в течение 1 мин светом с $\lambda = 1064 \text{ нм}$ с интенсивностью $I = 68 \text{ мВт/см}^2$ (1), $I = 55 \text{ мВт/см}^2$ (2), $I = 42 \text{ мВт/см}^2$ (3) и $I = 9 \text{ мВт/см}^2$ (4)

Полученные экспериментальные зависимости были аппроксимированы в рамках модели, учитывающей вклад в примесное поглощение как фотовозбуждения электронов в зону проводимости с глубоких донорных центров с нормальным законом распределения концентраций по энергии ионизации [4], так и внутрицентровых переходов со спектральными характеристиками в виде функций Гаусса [5]. При расчетах учитывались пять внутрицентровых переходов, с максимумами при энергиях кванта, равных 1,32; 1,62; 1,81; 2,3 и 2,57 эВ, а также переходы электронов в зону проводимости с трех глубоких донорных центров со средними энергиями ионизации 1,24; 2,05 и 2,71 эВ. В результате аппроксимации получено, что облучение кристалла лазерными импульсами с $\lambda = 1064 \text{ нм}$ приводит к уменьшению вклада внутрицентровых переходов, соответствующих поглощению квантов света с энергиями 1,62 и 1,81 эВ. Вклад внутрицентровых переходов в поглощение, инициируемых квантами света с энергией 2,3 и 2,57 эВ, увеличивается. Кроме того, происходит увеличение заполнения электронами глубоких донорных центров с энергиями ионизации 1,24 и 2,71 эВ и уменьшение заполнения центра с энергией 2,05 эВ.

Таким образом, получено, что облучение импульсным лазерным излучением с $\lambda = 1064$ нм приводит к увеличению оптического поглощения кристалла в области 430–590 нм и его уменьшению в интервале 610–840 нм. Величина наведенных изменений растёт с увеличением интенсивности лазерных импульсов от 9 до 68 мВт/см². Полученные экспериментальные зависимости удовлетворительно описываются в рамках модели, учитывающей два типа переходов.

Работа выполнена при поддержке программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)» и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (госконтракт № 02.740.11.0553). Авторы благодарят С.М. Шандарова за постановку задачи и полезные консультации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Малиновский В.К.* Фотоиндуцированные явления в силленитах / В.К. Малиновский, О.А. Гудаев, В.А. Гусев, С.И. Деменко. Новосибирск: Наука, 1990. 160 с.
2. *Кистенева М.Г., Шандаров С.М., Акрестина А.С. и др.* Фото- и термоиндуцированные изменения поглощения света в кристалле титаната висмута, легированном алюминием // Изв. вузов. Физика. 2010. № 9/3. С. 145–146.
3. *Shandarov S.M., Kisteneva M.G., Akrestina A.S. et al.* Change in absorption induced in a Bi₁₂TiO₂₀:Ca crystal by 870-nm infrared radiation // High Energy Chemistry. 2008. Vol. 42, № 7. Pp. 46–48.
4. *Толстик А.Л., Матусевич А.Ю., Кистенева М.Г. и др.* Спектральная зависимость фотоиндуцированного поглощения, наведенного в кристалле Bi₁₂TiO₂₀ импульсным излучением с длиной волны 532 нм // Квантовая электроника. 2007. Т. 37, № 11. С. 1027–1032.
5. *С.М. Шандаров, М.Г. Кистенева, А.С. Акрестина, А.Л. Толстик* Фотоиндуцированные изменения оптического поглощения в кристалле титаната висмута, наведенные излучением из ближнего ИК-диапазона // Матер. VII Междунар. науч.-техн. конф. «Квантовая электроника–2008». Минск, 13–16 октября 2008 г. Минск, 2008. С. 40.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ ФОТОННЫХ СТРУКТУР В ФОТОПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ

*А.В. Лисовский, М.А. Ольджебаев, А.О. Семкин, студенты;
С.Н. Шарангович, зав. каф. СВЧиКР
г. Томск, ТУСУР, shr@tusur.ru*

При экспериментальном исследовании кинетики формирования фотонных структур (ФС) в фотополимерных материалах наблюдаются один или несколько локальных экстремумов [1]. Для теоретического объяснения данных эффектов развиты математические модели, основанные на процессах формирования длинных полимерных цепей за

счет последовательного присоединения одиночного радикала или за счет объединения более коротких радикальных цепей [1, 2]. Однако на практике отдельной модели одного процесса недостаточно, чтобы объяснить наличие двух или более экстремумов временной зависимости дифракционной эффективности.

Целью данной работы является создание теоретической модели голографической записи одномерных пропускающих ФС, учитывающей статистическую возможность одновременного протекания описанных процессов формирования полимерных цепей.

Экспериментальное исследование. На рис. 1 приведены экспериментальные кривые временной зависимости дифракционной эффективности одномерной пропускающей ФС в процессе двухпучкового голографического формирования для двух образцов фотополимерных материалов (ФПМ), изготовленных в ООО «Полимерные голограммы – Новосибирск».

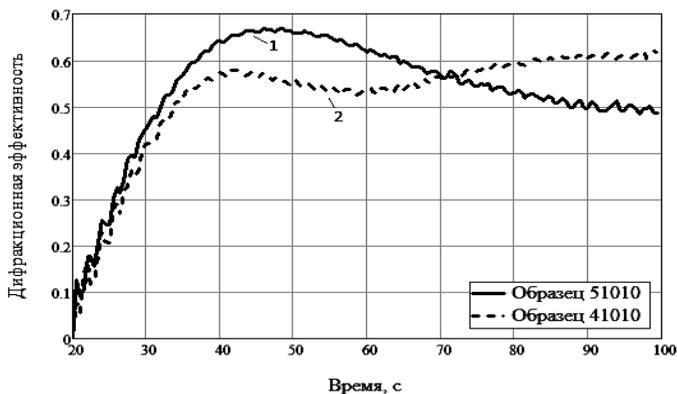


Рис. 1. Экспериментальные кривые кинетик формирования ФС

Из рис. 1 видно, что кинетика дифракционной эффективности образца 51010 (кривая 1) имеет один локальный экстремум и может быть описана в рамках известных теоретических моделей [1, 2], учитывающих один из механизмов роста полимерных цепей. Однако данные модели не позволяют объяснить наличие нескольких экстремумов в кинетике формирования ФС в ФПМ (рис. 1, кривая 2).

Теоретическая модель. В основу развиваемой модели положены общие уравнения голографической записи ФС в ФПМ [2]. Решения данных уравнений записи представляются совокупностью наложенных дифракционных решеток с амплитудами $n_1(t)$ и $n_2(t)$, соответственно обусловленных механизмами формирования полимерных цепей за счет

последовательного присоединения одиночных радикалов и за счет объединения коротких радикальных цепей. Для каждого из процессов получены следующие выражения для амплитуд первых гармоник показателя преломления:

$$n_1(t) = \delta n_p \frac{2^k}{b_1} \int_0^t [p(t') \cdot k - (1 + 1,5L_y) \cdot f_1(t')] dt' + \delta n_i \int_0^t [b(t') \cdot f_1(t')] dt, \quad (1)$$

$$n_2(t) = \delta n_p \frac{2^k}{b_2} \int_0^t [p(t') \cdot k - (1 + 1,5L_y) \cdot f_2(t')] dt' + \delta n_i \int_0^t [b(t') \cdot f_2(t')] dt, \quad (2)$$

где $\delta n_p, \delta n_i$ – коэффициенты, определяющие изменения показателя преломления ФС за счет процессов фотополимеризации и диффузии; b_1, b_2 – параметры скоростей реакции фотополимеризации при объединении коротких радикальных цепей ($b_1 < 1$) и последовательном росте длинных цепей ($b_2 > 1$); $k_{1,2}$ – соответствующие коэффициенты нелинейности данных процессов, остальные обозначения приведены в работе [2].

Численное моделирование.

Результаты моделирования временных зависимостей $n_1(t), n_2(t)$ на основе (1), (2) и результирующей амплитуды первой гармоники ФС $\Delta n = n_1(t) + n_2(t)$, представленные на рис. 2, показывают качественное соответствие экспериментальным результатам (рис. 1, кривая 2).

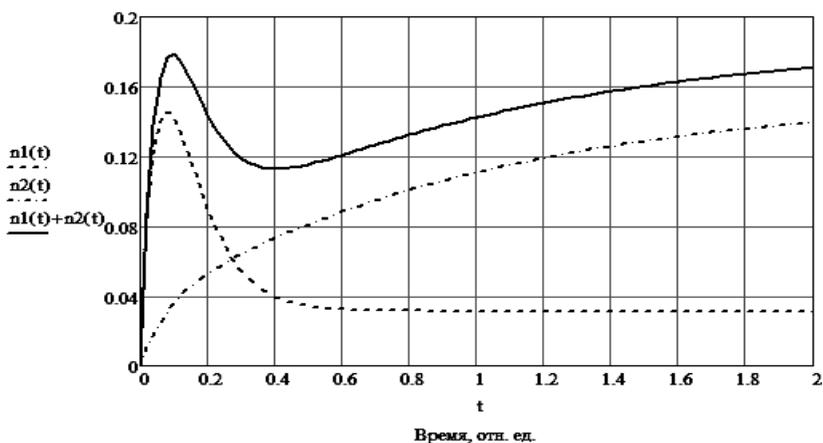


Рис. 2. Расчетные кинетики амплитуд первых гармоник

Количественная оценка соответствия полученной модели экспериментальным данным, представленным на рис. 1 (кривая 2), проводилась на основе формулы Когельника для дифракционной эффективности:

$$\eta_d = \sin^2 \left(\frac{\lambda_{cp} \cdot \Delta n \cdot \cos \varphi}{\pi \cdot d} \right), \quad (3)$$

где λ_{cp} – длина волны света в ФПМ; $\Delta n = n_1(t) + n_2(t)$; φ – угол падения излучения; d – толщина ФС.

Путем минимизации функционала среднеквадратического отклонения расчетных [на основе (1)–(3)] от экспериментальных кривых кинетик $\eta_d(t)$ (рис. 3) были определены параметры математической модели. Суммарная погрешность составила 2%. Таким образом, представленная теоретическая модель формирования ФС может быть использована для объяснения возникновения нескольких локальных экстремумов в кинетике записи ФС в ФПМ.

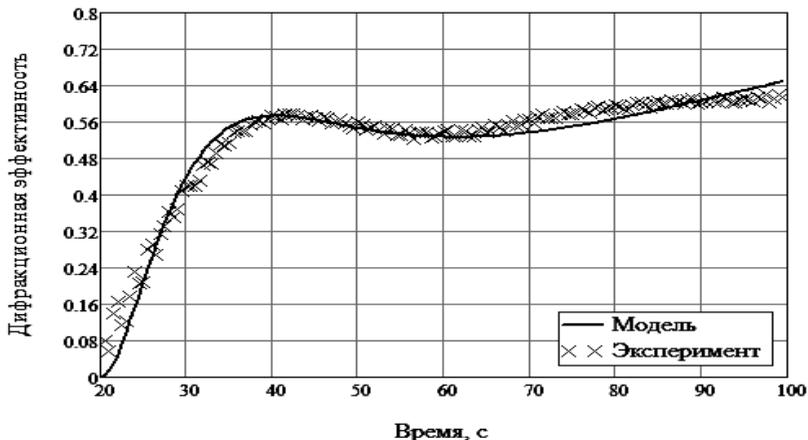


Рис. 3. Экспериментальные и расчетные зависимости $\eta_d(t)$

Заключение. Развита теоретическая модель голографического формирования ФС в ФПМ, учитывающая несколько механизмов фотополимеризации и позволяющая объяснить сложный характер кинетики записи фотонных структур. Представленные результаты численного моделирования и экспериментального исследования находятся в хорошем согласии.

Работа выполнена по проекту № РНП.2.1.1.429 программы «Развитие научного потенциала высшей школы» на 2011 г. и НИР по госконтракту № 02.740.11.0553 ФЦП «Научные и педагогические кадры инновационной России».

ЛИТЕРАТУРА

1. Lawrence J.R., O'Neill F.T., Sheridan J.T. // Optik (Stuttgart). 2001. № 112. P. 449–463.
2. Довольнов Е.А., Устюжанин С.В., Шарангович С.Н. // Изв. вузов. Физика. 2006. № 10. С. 81–89.

ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ПЛАНАРНОЙ ВОЛНОВОДНОЙ СТРУКТУРЫ $\text{Zn}:\text{LiNbO}_3$

Д.О. Анисимов, М.В. Бородин, В.В. Щербина, аспиранты

г. Томск, ТУСУР, каф. ЭП, vesta-87@mail.ru

В настоящей работе представлены результаты исследования свойств оптических волноводов $\text{Zn}:\text{LiNbO}_3$, полученных методом высокотемпературной диффузии из пленок ZnO в подложки ниобата лития.

Подложка конгруэнтного ниобата лития X -среза имела толщину 3 мм и поперечные размеры 7×24 мм² по осям Z и Y , соответственно. Пленка ZnO на LiNbO_3 была получена из пленкообразующего раствора по золь-гель технологии. В качестве исходных веществ были выбраны соль нитрата цинка и салициловая кислота ($\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{COOH}$), растворитель – 96%-й (мас.) этанол. Толщина полученной пленки составляла ~120 нм. Для проведения высокотемпературной диффузии структуры $\text{LiNbO}_3+\text{ZnO}$, вместе с порошком ниобата лития для предотвращения обратной диффузии, помещались в трубчатую электропечь. Отжиг проводился в воздушной атмосфере при температуре 1050 °С в течение двух часов.

Для исследования характеристик полученного волновода после отжига производились оптические измерения спектра эффективных показателей преломления волноводных мод и показателя преломления подложки методом призмного ввода-вывода излучения. Сформированный волновод LiNbO_3 поддерживал распространение трех ТЕ-мод при вводе излучения с длинами волн $\lambda = 526,5$ и 532 нм; двух ТЕ-мод для $\lambda = 633$ нм и двух ТЕ-мод при $\lambda = 1053$ нм.

Профиль показателя преломления волновода при $\lambda = 532$ нм удовлетворительно описывался функцией $n(x) = n_{\text{esg}} + \Delta n_{\text{esg}} \text{ch}^{-2}(x/h)$ с параметрами $\Delta n_{\text{esg}} = 0,00197$, $h = 12,8$ мкм и $n_{\text{esg}} = 2,22825$ (рис. 1).

Измерения спектров пропускания данной структуры в X -направлении, проведенные на спектрофотометре СФ-56 на разных этапах формирования волновода, показали, что она прозрачна в диапазоне от 370 до 1100 нм. После нанесения на кристалл плёнки ZnO его оптическое пропускание уменьшилось на 2% относительно наблюдаемого в

конгюэнтном кристалле, а после формирования волновода, наоборот, увеличилось на 5%.

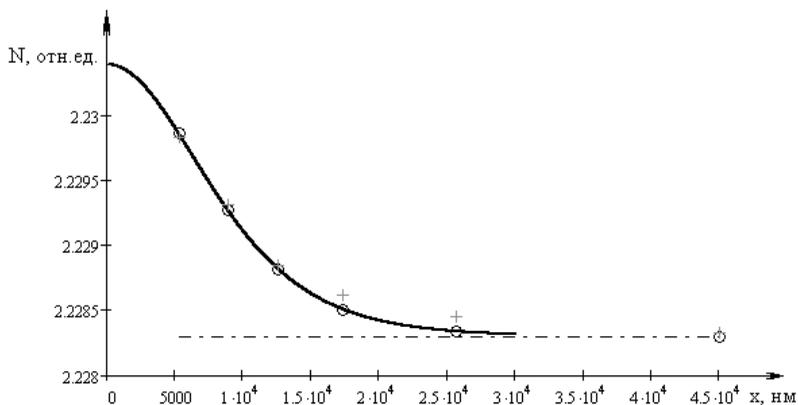


Рис. 1. Профиль показателя преломления и соответствующие эффективные показатели волноводных мод на длине волны 532 нм (сплошная кривая – расчетный профиль, «o» – расчётные эффективные показатели преломления, «+» – эффективные показатели преломления, полученные экспериментально)

Эксперименты по исследованию стойкости полученного волновода к оптическому излучению проводились на установке, включающей лазер с длиной волны 532 нм, коллиматор, делительную пластину, волновод Zn:LiNbO_3 , рутиловые призмы ввода-вывода, фотодиод ФД-24К, микроамперметр и блок обработки данных, подключенный к персональному компьютеру. Стойкость волновода к оптическому излучению оценивалась по величине нелинейной добавки Δn к показателю преломления, возникающей за счет фоторефрактивного эффекта. С помощью схемы двухпучкового взаимодействия в волноводе записывалась фоторефрактивная решетка и измерялась её дифракционная эффективность, после чего находилась величина нелинейной добавки к показателю преломления. Для сравнения аналогичные измерения были проведены в волноводе Ti:LiNbO_3 . Эффективность дифракции в планарной волноводной структуре Zn:LiNbO_3 составила 7%, что соответствует величине нелинейной добавки $5,625 \cdot 10^{-6}$; для структуры Ti:LiNbO_3 эти параметры составляли 20% и $9,814 \cdot 10^{-6}$ соответственно. Следовательно, планарная волноводная структура Zn:LiNbO_3 является более стойкой к оптическому излучению, по сравнению со структурой Ti:LiNbO_3 .

Для создания волноводов Zn:LiNbO_3 , более стойких к оптическому излучению с длиной волны 532 нм, необходимо определение меха-

низма деградации их характеристик и оптимизация параметров процесса формирования, таких как толщина пленки, время и температура диффузии.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 09-02-00609_а, программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)» и ФЦП (гос. контракт № 02.740.11.0553). Авторы благодарят С.А. Кузнецову за нанесение пленок ZnO и С.М. Шандарова за постановку задачи и научное руководство.

ТЕМПОРЕГУЛЯТОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ОПТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В КРИСТАЛЛАХ

*С.С. Шмаков, аспирант каф. ЭП, А.Н. Дубровин, нач. сектора
ООО НПП «Томская электронная компания»,
А.Е. Мандель, проф. каф СВЧиКР,
С.М. Шандаров, проф. каф. ЭП
г. Томск, ТУСУР, sergafan.86@mail.ru*

Температурные зависимости параметров нецентросимметричных кристаллов, широко используемых в качестве функциональной среды в динамической голографии и нелинейной оптике, оказывают значительное влияние на оптические эффекты, являющиеся основой для их приложений. От температуры кристалла зависят, в частности, углы фазового синхронизма при нелинейном преобразовании частоты лазерного излучения [1], его оптическое поглощение [2, 3], эффекты фотоиндуцированного поглощения света [4] и встречного двухпучкового взаимодействия на отражательных фоторефрактивных голограммах [5].

При проведении экспериментальных исследований температурных зависимостей оптических эффектов в кристаллах возникает необходимость в устройстве, позволяющем регулировать скорость изменения температуры образца и стабилизировать заданную для него температуру в течение длительного времени.

В данной статье описывается терморегулятор, использовавшийся в работах [3–5] и позволяющий как задавать скорость изменения температуры исследуемого кристалла, так и поддерживать его температуру в диапазоне от +5 до +110 °С с точностью $\pm 0,5$ °С.

Терморегулятор состоит из модуля управления, нагревательного элемента, выполненного на основе термоэлектрического элемента Пельтье TEC1-127060-40, и цифрового термодатчика DS-1620 [6]. Исследуемый кристалл, элемент Пельтье и термодатчик DS-1620 разме-

щаются на медной пластине с размерами $50 \times 60 \times 10 \text{ мм}^3$, что обеспечивает равномерность распределения температуры по объему кристалла. Изменением направления тока через элемент Пельтье можно либо нагревать, либо охлаждать исследуемый кристалл. Скорость изменения температуры регулируется путем изменения тока, протекающего через элемент Пельтье.

Функциональная схема терморегулятора представлена на рис. 1. Модуль управления терморегулятора построен на базе микроконтроллера ADuC824 фирмы Analog Devices [7]. Микроконтроллер осуществляет управление нагревательным элементом по заданному алгоритму и передачу полученных с датчика DS-1620 данных о температуре кристалла на персональный компьютер в режиме реального времени. Связь с компьютером реализуется через интерфейс RS-232.

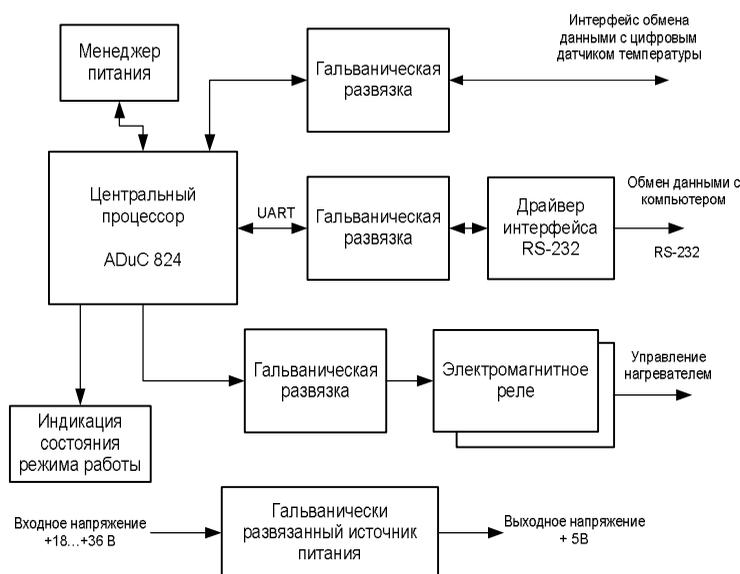


Рис. 1. Функциональная схема терморегулятора

Питание терморегулятора осуществляется через импульсный преобразователь напряжения с гальванической развязкой TEN32411 фирмы TRACO POWER [8]. Напряжение питания на входе преобразователя TEN32411 может находиться в диапазоне от +18 до +36 В, что делает прибор устойчивым к колебаниям питающего напряжения. Выходное напряжение с преобразователя составляет +5 В и используется для питания цифровой части схемы. Для контроля питающего напряжения

в модуле предусмотрен менеджер питания, выполняющий функцию аппаратного сброса при выходе напряжения за установленные пределы. Применение для входных и выходных сигналов модуля гальванической развязки предотвращает воздействие на цифровую часть схемы опасных статических напряжений и увеличивает срок службы устройства. Направление тока, управляющего нагреванием или охлаждением термоэлектрического элемента Пельтье, задавалось переключением контактов электромагнитного реле. Связь с компьютером и обмен данными с ним выполнен на драйвере интерфейса RS-232, представляющем собой микросхему MAX232 фирмы MAXIM™ [9].

В качестве примера на рис. 2 представлена типичная экспериментальная зависимость изменений температуры кристалла от времени. Управление температурным режимом кристалла осуществлялось специализированным программным обеспечением. Скорость роста температуры в данном эксперименте задавалась равной 1 °С/мин. Время стабилизации температуры кристалла через каждые 10 °С в диапазоне от 20 до 80 °С задавалось равным 600 с.

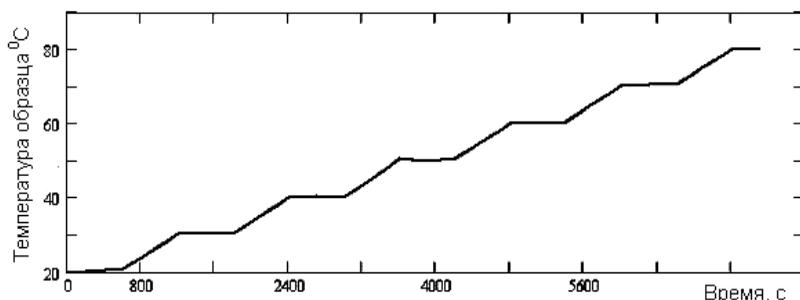


Рис. 2. Динамика роста температуры кристалла

Использование предложенного терморегулятора позволило провести эксперименты по исследованию температурных зависимостей оптического поглощения [3] и его фотоиндуцированных изменений в кристаллах класса силленитов [4], а также обнаружить сильную зависимость от температуры эффективности двухпучкового взаимодействия на отражательных голограммах в кристалле титаната висмута и предложить физический механизм этого явления [5].

Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)» и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (госконтракт № 02.740.11.0553).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дмитриев В.Г., Тарасов Л.В.* Прикладная нелинейная оптика. М.: Физмалит, 2004.
2. *Uhrich C., Hesselink L.* // Opt. Lett. 2002. Vol. 92, № 2. P. 793.
3. *Дубровин А.Н., Мандель А.Е., Шандаров С.М и др.* // Неорганические материалы. 2004. Т. 40. № 12. С. 1459.
4. *Mandel A.E., Shandarov S.M., Dubrovin A.N. et al.* // OSA TOPS. 2005. Vol. 99. P. 115.
5. *Колегов А.А., Шандаров С.М., Кабанова Л.А., Каргин Ю.Ф.* // Изв. вузов. Физика. 2010. № 9/3. С. 147.
6. <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS1620.pdf>
7. <http://www.analog.com>
8. <http://www.tracopower.com>
9. <http://www.maxim-ic.com>

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛНОВОДНЫХ СВОЙСТВ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ GaN, ВЫРАЩЕННОЙ НА ПОДЛОЖКЕ ИЗ САПФИРА

*М.В. Бородин, аспирант, С.А. Смычков, магистрант
г. Томск, ТУСУР, каф. ЭП, s.smy@sibmail.com*

Структуры на основе GaN, выращенные на подложках из сапфира, привлекают внимание не только в качестве базовых для создания традиционных оптоэлектронных и светодиодных применений, но и для реализации на их основе устройств и элементов интегральной оптики различного назначения [1–3]. В настоящей статье представлены результаты измерения, на длине волны 633 нм, спектра волноводных TE мод планарных структур GaN/InGaN, выращенных на сапфировой подложке с толщиной 470 мкм и используемых для производства синих светодиодов, и восстановления на его основе профиля показателя преломления данной структуры.

Для исследования волноводных характеристик планарных структур GaN/InGaN на сапфире производились оптические измерения спектра эффективных показателей преломления волноводных TE мод и показателя преломления подложки методом призмного ввода-вывода излучения. Ввод и вывод излучения осуществлялся призмами связи из фосфида галлия; определение углов ввода проводилось на специализированной установке с точностью измерения ± 30 угловых секунд. Измерения проводились с использованием непрерывного He-Ne лазера мощностью ~ 1 мВт и длиной волны 632,8 нм. Возбуждение

соответствующей волноводной моды фиксировалось по максимуму интенсивности ее m -линии, выводимой из волновода выходной призмой связи. В экспериментах было зафиксировано возбуждение в волноводе шестнадцати ТЕ мод, эффективные показатели преломления n_p^* которых ($p=0 \div 15$) приведены в таблице.

Эффективные показатели преломления для ТЕ мод на длине волны 632,8 нм

Мода TE_p	TE_0	TE_1	TE_2	TE_3	TE_4	TE_5	TE_6	TE_7
n_p^*	2,34155	2,33199	2,32043	2,30611	2,28988	2,27110	2,25001	2,22647
Мода TE_p	TE_8	TE_9	TE_{10}	TE_{11}	TE_{12}	TE_{13}	TE_{14}	TE_{15}
n_p^*	2,20076	2,17243	2,14166	2,10714	2,07088	2,03139	1,98834	1,94855

Для расчета профиля показателя преломления планарной волноводной структуры из измеренных значений n_p^* использовались ВКБ-метод [4] и показатель преломления сапфира для обыкновенного луча $n_s = 1,7659$ на длине волны 632,8 нм [1]. Принималось, что фазовый сдвиг на границе пленки GaN с воздухом не зависит от номера моды и равен π . Проведенный в этом приближении численный анализ показал, что профиль показателя преломления исследованной структуры хорошо аппроксимируется функцией

$$n(y) = n_s + \frac{\Delta n}{2} \left[1 - \operatorname{th} \left(\frac{y-h}{d} \right) \right]$$

с параметрами $\Delta n = 0,574$, $h = 4330$ нм и $d = 425$ нм. Рассчитанная зависимость $n(y)$ показана на рис. 1 сплошной линией. Здесь же представлены соответствующие волноводным модам экспериментальные (темные кружки) и расчетные (крестики) значения эффективных показателей преломления.

Таким образом, исследованная структура имеет толщину около 5 мкм, содержит переходный слой толщиной ~ 2 мкм и обеспечивает распространение большого количества волноводных ТЕ мод. Для более точного анализа необходимо в расчете по методу ВКБ учесть изменения с номером моды фазового сдвига при полном внутреннем отражении света на границе пленки GaN с воздухом. Поскольку кристаллы GaN не обладают центром симметрии, оптические волноводы на их основе перспективны для реализации нелинейно-оптических преобразований и электрооптической модуляции лазерного излучения.

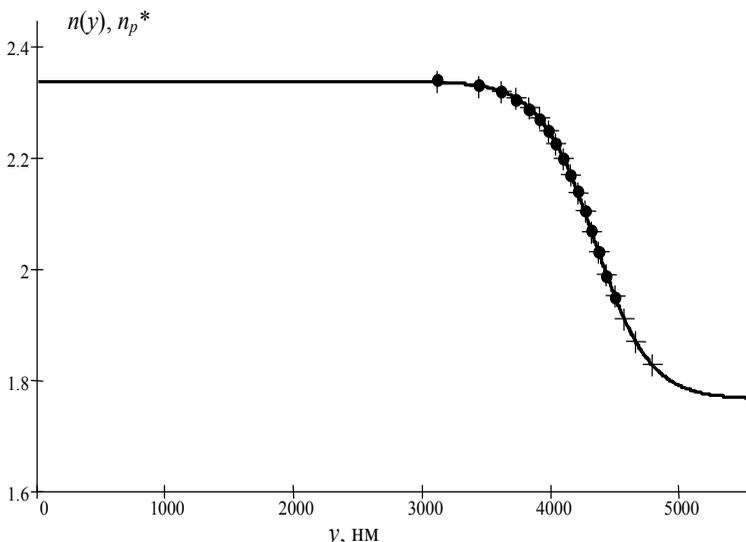


Рис. 1. Профиль показателя преломления планарной волноводной структуры GaN/InGaN на сапфире (сплошная кривая); экспериментальные (темные кружки) и расчетные (крестики) значения эффективных показателей преломления ТЕ мод

Работа выполнена при поддержке программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)» и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (госконтракт № 02.740.11.0553). Авторы благодарят научного руководителя С.М. Шандарова за полезные консультации, а также Л.Я. Серебренникова и А.В. Хана за предоставление образца структуры для исследований и постановку задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zhang H.Y., He X.H., Shih Y.H. et al. Waveguide study and refractive indices of GaN:Mg epitaxial films // Opt. Lett. Vol. 21, №19. P. 1529–1531.
2. Rosenberg A., Carter M.W., Casey J.A., et al. GaN-Based Photonic Crystals and Integrated Optics, in Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference and Photonic Applications Systems Technologies, Technical Digest (CD) (Optical Society of America, 2006), paper CTuAA6.
3. Das R., Thyagarajan K. Broadening of the phase-matching bandwidth in quasi-phase-matched second-harmonic generation using GaN-based Bragg reflection waveguide. Opt. Lett. Vol. 32, № 21. P. 3128–3130.
4. Волноводная оптоэлектроника / Под ред. Т. Тамира. М.: Мир, 1991. 575 с.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПРОФИЛЕЙ СВЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ ФОТОННЫХ СВЕРХРЕШЕТКАХ

П.А. Тренихин, аспирант

*Научный руководитель В.М. Шандаров, проф. каф. СВЧиКР, д.ф.-м.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. СВЧиКР, zegra@net-ka.ru*

В некоторых случаях распространение света в периодических структурах связанных нелинейных оптических волноводов может носить бездифракционный характер. Такое явление получило название дискретных пространственных солитонов [1]. Экспериментальное подтверждение этого эффекта [2] повлекло активные исследования явлений самовоздействия световых пучков в одномерных и двумерных системах связанных оптических волноводов, названных фотонными решетками (ФР) [3]. В связи с этим особый интерес представляет исследование подобных явлений в структурах с квазирегулярными параметрами – фотонных сверхрешетках (ФСР).

Фотонная сверхрешетка – квазипериодическая структура связанных оптических волноводов, полученная путем оптической модуляции параметров базовой фотонной решетки (ФР), сформированной в фоторефрактивном кристалле ниобата лития (рис. 1).

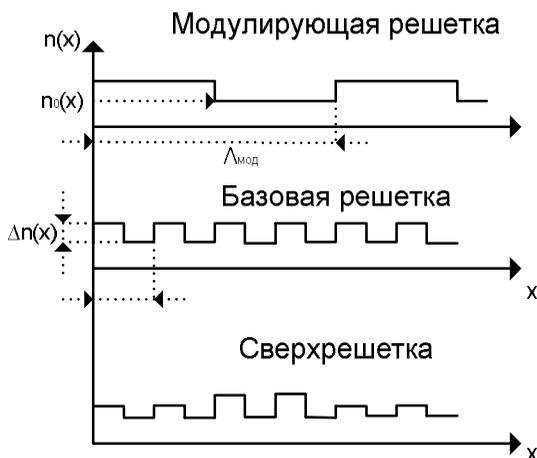


Рис. 1. Вид профиля показателя преломления ФСР

В наших экспериментах формирование ФСР проводилось путем поочередной записи базовой и модулирующей фотонных структур в подложке из фоторефрактивного кристаллического образца LiNbO_3 . Оптическое индуцирование ФСР осуществлялось непрерывным излу-

чением твердотельного YAG:Nd^{3+} лазера с удвоением частоты ($\lambda = 532$ нм) мощностью 50 мВт. При времени записи 30 мин изменение показателя преломления базовой решетки достигало величины порядка $\Delta n = 5 \cdot 10^{-5}$, а глубина модуляции параметров базовой ФР модулирующей структурой 50%.

Характеристики и особенности дискретной дифракции света в полученных ФСР изучались по картинам световых полей на выходной плоскости образцов при разных условиях возбуждения фотонных структур. В экспериментах использовался подход, предполагающий как многоэлементное возбуждение фотонных волноводных структур, так и одноэлементное возбуждение – с помощью фокусированного светового пучка. В таком случае направление распространения считываемого излучения ортогонально направлению света на этапе индуцирования структур. В качестве источника излучения использовался He-Ne лазер ЛГН-207А ($\lambda = 633$ нм) с выходной мощностью около 1 мВт. Согласование диаметра светового пучка с толщиной волноводного элемента осуществлялось с помощью фокусирующих линз. Поляризация света соответствовала необыкновенной волне в кристалле. Картины световых полей на выходной плоскости ФСР изучались с помощью видеокамеры.

Рисунок 2, *a* иллюстрирует эффект нелинейного самовоздействия света в ФСР. Верхний ряд соответствует линейному режиму распространения света.

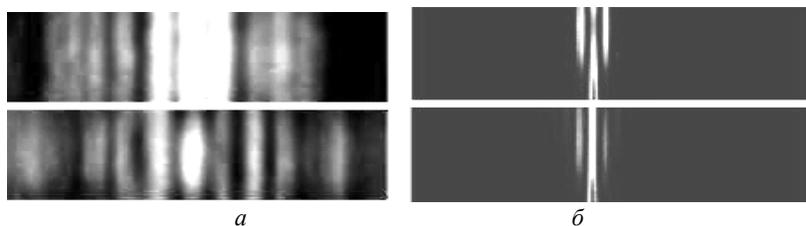


Рис. 2. Картины распределения светового поля на выходной плоскости ФСР в режиме нелинейного самовоздействия ($\Lambda = 16$ мкм, $\Lambda_m = 60$ мкм; *a* – $t = 0$; *b* – $t = 11$ мин)

Нижний ряд соответствует нелинейному режиму, при котором зондирующий световой пучок, вследствие фоторефрактивного эффекта, вносит изменение в параметры возбуждаемого им волноводного элемента.

На рис. 2, *a* наблюдается лишь частичная локализация световой мощности в возбуждаемом волноводном элементе ФСР в образце

$\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ (0,05 вес.%). Это объясняется различием параметров соседних элементов с возбуждаемым и, как следствие, различием коэффициента связи для разных пар волноводных элементов. В результате световая мощность перераспределяется в соседние элементы неодинаково (рис. 2, а).

Численное моделирование распространения света в ФСР проводилось с использованием специализированного программного обеспечения, разработанного для среды MatLab.

В качестве примера на рис. 2, б представлена картина эволюции светового поля при его распространении в ФСР. Наблюдается частичная локализация света в возбуждаемом волноводном элементе. Параметры структуры идентичны параметрам структуры, полученной экспериментальным путем (рис. 2, а).

Работа выполнена в рамках НИР РНП.2.1.1.429, НИР по госконтракту № 02.740.11.0553 и совместного проекта РФФИ-ГФЕН Китая (грант 11-02-91162-ГФЕН_а).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Christodoulides D.N. and Joseph R.I.* Discrete Self-Focusing in Nonlinear Arrays of Optical Waveguides // Opt. Lett. 1988. №13. P. 794.
2. *Eisenberg H.S., Silberberg Y., Morandotti Y., Boyd R., and Aitchison J.S.* Discrete spatial optical solitons in waveguide arrays // Phys. Rev. Lett. 1998. №81. P. 3383.
3. *Christodoulides D.N., Lederer F., and Silberberg Y.* Discretizing light behaviour in linear and nonlinear waveguide lattices // Nature. 2003. №424. P. 817.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ВТОРОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ГАРМОНИКИ В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ ПО НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИКЕ

А.А. Власова, О.С. Сюваева, студенты 4-го курса,

М.В. Бородин, аспирант

г. Томск, ТУСУР, каф ЭП, ep@tusur.ru

Приборы нелинейной оптики находят широкое применение в науке, технике и современном технологическом оборудовании для преобразования частоты лазерного излучения [1]. Одним из важнейших процессов в нелинейной оптике является генерация высших гармоник светового излучения, в частности, процесс генерации второй гармоники, который обычно сокращенно называется ГВГ. Развитие техники ГВГ тесно связано с разработкой источников интенсивного монохроматического излучения – лазеров, и синтеза нелинейных кристаллов. Изучение эффектов ГВГ в лабораторном практикуме позволяет сту-

дентам понять, как важны междисциплинарные знания для эксплуатации, разработки и совершенствования характеристик современного лазерного оборудования.

Для формирования необходимых знаний и компетенций у студентов направлений «Фотоника и оптоинформатика», «Электроника и наноэлектроника» в области фотоники, квантовой электроники, оптического материаловедения, когерентной и нелинейной оптики, необходимо дополнить соответствующие лекционные курсы лабораторным практикумом, где студенты могли бы исследовать эффекты генерации второй гармоники в нелинейных кристаллах.

В настоящей статье представлены результаты разработки, в рамках группового проектного обучения, экспериментального макета установки для реализации лабораторного практикума по изучению ГВГ в кристаллах ниобата лития (LiNbO_3), титанилфосфата калия (KTiOPO_4 или КТП) и дигидрофосфата калия (KN_2PO_4).

Оптическая схема разработанной установки представлена на рис. 1. В установке используется твердотельный импульсный лазер 1 типа LCS-DTL-324QT на алюмоиттриевом гранате с неодимом с лазерной диодной накачкой, имеющий габариты излучателя $299 \times 90 \times 52$ мм³. Выходное излучение на длине волны 1064 нм является периодической последовательностью импульсов с фиксированной длительностью 10 нс и с регулируемой частотой повторения F от 0,2 до 99,9 кГц. Сведения о частоте повторения, энергии в импульсе и средней мощности излучения отображаются на цифровом дисплее, расположенном на блоке питания и управления. При помощи элементов управления можно устанавливать параметры лазерного излучения, которые в данный момент индицируются – мощность, энергия или частота. Проведенные эксперименты показали, что имеющиеся регулировки позволяют в достаточно широких пределах (от 23 до 999 мВт) изменять среднюю выходную мощность лазера. Однако энергия в импульсе изменяется не столь значительно – от 18 мкДж при $F = 99,9$ кГц до 123 мкДж при $F = 0,2$ кГц. В лабораторной работе студентам рекомендуется использовать диапазон частот от 0,35 до 10 кГц.

Распределение интенсивности в выходном пучке исследовалось с помощью фотодиода с узкой щелью (~ 200 мкм), который перемещался поперек пучка с помощью микрометрического винта. Получено, что оно хорошо аппроксимируется функцией Гаусса $I(r) = I_0 \exp(-r^2/D^2)$ с эффективным диаметром $D = 1,3$ мм. Таким образом, импульсная интенсивность накачки может регулироваться при выполнении лабораторных работ от 17,7 до 768,5 мВт/м².

Вертикальная поляризация выходного излучения лазера позволяет, при исследовании ГВГ в кристалле ниобата лития (тип взаимодействия $oo-e$), использовать образцы 2 (рис. 1) с оптической осью z , расположенной в горизонтальной плоскости лабораторного макета.

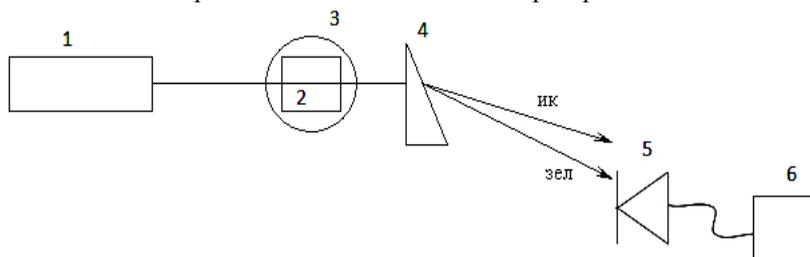


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Установка нами такого образца LiNbO_3 на столике 3, поворачивающемся в горизонтальной плоскости и снабженном отсчетным устройством с точностью измерения 10 угловых минут, позволяла как наблюдать картины векторного взаимодействия [1], так и определить угол синхронизма относительно оси z , ортогональной одной из полированных граней. Для титанилфосфата калия в данном практикуме исследуется взаимодействие типа $sf-f$, поэтому этот кристалл устанавливался на поворотном столике в оправке, реализующей угол в 45° к плоскости поляризации излучения лазера. В этом случае излучение накачки возбуждается в кристалле в виде суперпозиции медленной (s) и быстрой (f) собственных волн.

После наблюдения картины векторного взаимодействия на экране, устанавливаемом перед дисперсионной призмой 4, студенты определяют угол синхронизма по максимуму интенсивности второй гармоники, который регистрируется ими визуально. Чтобы зарегистрировать мощность генерируемой волны второй гармоники, в установку введена дисперсионная призма 4 из MgF_2 , разделяющая пучки излучения накачки и второй гармоники. Мощность пучка второй гармоники измеряется на расстоянии ~ 30 см от призмы с помощью калиброванного фотодиода 5 типа ФД 24К, подключенного к мультиметру 6. В этом случае рассеяние излучения накачки на элементах установки не оказывает заметного воздействия на сигнал с фотодиода. Мощность пучка накачки не только фиксируется по индикаторной панели лазера, но и измеряется с помощью болометра ОРНІR, устанавливаемого для этого между лазером и кристаллом.

При выполнении лабораторных работ на разработанном макете студенты должны экспериментально снять зависимость мощности

второй гармоники от угла поворота кристалла в горизонтальной плоскости. По полученным данным они должны рассчитать коэффициент нелинейного преобразования, фазовый угол и ширину синхронизма.

На разработанном макете экспериментальной установки проводились лабораторные работы со студентами 4 курса направления подготовки «Фотоника и оптоинформатика». Анализ их выполнения показал, что студенты получают более глубокие знания в области нелинейной оптики и оптического материаловедения и приобщаются к научно-исследовательской работе.

Работа выполнена при поддержке программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)» и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (госконтракт № 02.740.11.0553).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дмитриев В.Г., Тарасов Л.В.* Прикладная нелинейная оптика. М.: Физматлит, 2004. 512 с.

ВЛИЯНИЕ РАССЕЯНИЯ НА РАЗВИТИЕ СУПЕРЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В КОМПОЗИТАХ «РАСТВОР КРАСИТЕЛЯ – НАНОЧАСТИЦЫ»

В.А. Донченко, Ал.А. Землянов, Н.С. Панамарев, В.А. Харенков
г. Томск, ТГУ, *kharenkof@yandex.ru*

В настоящее время отмечается значительное повышение интереса к изучению оптических процессов в средах, содержащих наноструктуры различных материалов. Это связано с разработкой физических подходов к созданию принципиально нового класса лазерных микроизлучателей и преобразователей частоты на основе использования уникальных свойств фрактальных наноразмерных структур. Внедрение наноструктур в оптически-активные среды приводит к существенному увеличению в них эффективности оптических процессов, таких как комбинационное рассеяние света (КР), генерация гармоник, люминесценция. Сильные локальные поля вблизи наночастиц, значительно превосходящие по интенсивности среднее (макроскопическое) поле, падающее на среду, обуславливают гигантское увеличение оптических восприимчивостей [1]. Большие перспективы в плане создания высокоэффективных лазерных микро- и наноизлучателей, а также преобразователей частоты оптического диапазона длин волн открываются в связи с появлением в последнее время ряда экспериментальных работ,

в которых обнаружено значительное уменьшение энергетических порогов возникновения лазерного излучения в композитах с органическими красителями и внедренными наночастицами серебра и золота [2].

В экспериментах исследовались спектрально-энергетические характеристики свечения этанольных растворов красителя родамина 6G (R6G) со взвешенными наноагрегатами серебра различной агрегации. На рисунке 1 представлены фотографии наночастиц серебра.

Наночастицы серебра, представленные на рис. 1, *а* (колларгол), размерами 50–500 нм, представляют собой двумерное скопление отдельных мономеров с размерами 10–20 нм. В то время как на рис. 1, *б, в* представлены объемные агрегаты наночастиц с размерами 500–1000 нм. В агрегатах мономеров серебра, средний размер которых 12 нм, находятся на расстоянии приблизительно 1–5 нм. В рабочих растворах расстояние между агрегатами приблизительно 2 мкм.

Сначала излучение накачки на длине волны $\lambda = 0,53$ мкм направлялось в кювету с раствором R6G, свободным от наночастиц (концентрация R6G в растворе составляла 10^{-2} моль/л). Затем в кювету вводился раствор красителя той же концентрации, но уже с наночастицами в объемной доле 2%.

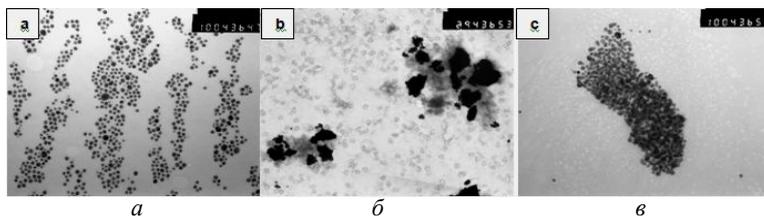


Рис. 1. Микрофотографии: *а* – колларгола (увеличение 100 000), *б, в* – наночастиц серебра (увеличение 30 000 и 100 000)

Спектры суперлюминесценции, полученные при концентрациях агрегатов наночастиц серебра с малым фактором заполнения и с размерами 50–500 нм, представлены на рис. 2, *а*. На рис. 2, *б* представлены спектры свечения растворов R6G с агрегатами серебра с большим фактором заполнения и размерами 500–1000 нм.

Скорее всего, появление широкополосного пика в длинноволновой области связано с рассеянием на агрегатах. Излучение накачки, претерпевая рассеяние на агрегатах, частично уходит в сторону из рабочего объема суперлюминесценции, которая определяется диаметром пучка. Следовательно, рассеянное излучение накачки возбуждает люминесценцию вне области пучка накачки; излучение люминесценции, попадая на фотоприемник, обеспечивает дополнительный вклад в регистрируемый сигнал.

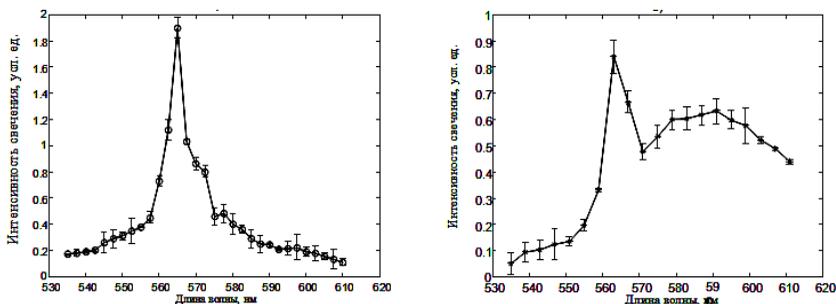


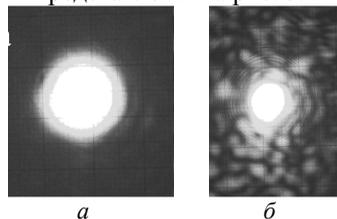
Рис. 2. Спектры суперлюминесценции: *а* – колларгол; *б* – объемные агрегаты наночастиц серебра

При этом дополнительное излучение спонтанной люминесценции вне основного пучка, проходя толщу раствора, в результате эффекта реабсорбции испытывает поглощение в основном в своей коротковолновой части. В результате спектр спонтанной люминесценции деформируется и регистрируемая спектральная картина свечения раствора представляет собой структуру с двумя пиками интенсивности. Первый спектральный пик относится к суперлюминесценции, второй – к спонтанной люминесценции, возникающей из-за рассеяния излучения на качки.

В подтверждение сделанного предположения мы провели следующий эксперимент. Излучение лазера накачки направлялось на кювету с рабочими растворами (но без красителя R6G) наночастиц колларгола (малоразмерных и слабоагрегированных наночастиц) и агломератов серебра. Полученные фотографии представлены на рис. 3.

Рис. 3. Фотографии картин на экране, полученных после прохождения излучения лазера через кювету

(*а* – кювета с раствором колларгола, *б* – кювета с раствором агрегатов наночастиц серебра)



Фон на рис. 3, *б* представляет собой типичную спекл-картину, т.е. интерференционную картину, получающуюся в результате интерференции лазерного излучения, рассеянного на агрегатах серебра. Поскольку в случае колларгола фон не наблюдается, можно утверждать, что рассеяние в этом случае мало в сравнении с рассеянием на агрегатах серебра. Сравнение приведенных фотографий (см. рис. 1) на качественном уровне подтверждает правильность сделанного выше предположения.

В результате проведенных экспериментов показано, что при добавлении в раствор роданида 6G взвесей из двумерных агрегатов наночастиц серебра размером 50–500 нм эффективность суперлюминесценции выше, чем при использовании агрегатов серебра с размерами 500–1000 нм при одинаковой концентрации серебра в растворах и фиксированной энергии накачки. Причиной этого является негативный вклад в процесс возникновения суперлюминесценции эффекта рассеяния на крупных агрегатах наночастиц серебра.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по образованию в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг., в рамках реализации мероприятия № 1.2.2 «Проведение научных исследований научными группами под руководством кандидатов наук». (госконтракт № ПЗ67 от 30 июля 2009 г.).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Sarychev V.M., Shalaev V.M.* // *Physica Review B.* 1998. Vol. 57, № 20. P. 13265–13287
2. *Armstrong R.L., Kim W.T., Shalaev V.M., Safonov V.P.* // *Phys. Rev. Lett.* 1999. Vol. 82, № 24. P. 4811–4814.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

*Председатель – Шарьгин Г.С., зав. каф. РТС, д.т.н., профессор,
зам. председателя – Тисленко В.И., профессор каф. РТС, д.т.н., доцент*

Аникин А.С., Денисов В.П. ПОГРЕШНОСТЬ ПЕЛЕНГОВАНИЯ ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНЫМИ АНТЕННАМИ В УСЛОВИЯХ МЕШАЮЩИХ ОТРАЖЕНИЙ.....	9
Гельпер А.А., Кузнецова Н.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СЕЗОННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ОСЛАБЛЕНИЯ РАДИОВОЛН ЛИСТВЕННЫМ ЛЕСОМ.....	13
Храмов М.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ МИНИ-СОДАРА.....	16
Конаков А.С. БЕСПЛАТФОРМЕННЫЕ ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ.....	18
Кучумов А.Е. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ СКАНИРУЮЩЕГО ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ МЕТОДОМ ЗАДЕРЖАННЫХ ДИАГРАММ НА НАЗЕМНОЙ ТРАССЕ	21
Логвинов А.Г., Капелько А.В., Зедин Д.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ВЧ-ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СПУТНИКОВ.....	24
Мионов М.В. ИНВЕРСНЫЙ МЕТОД ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ОШИБОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ НАЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ В ПАССИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ РАДИОМОНИТОРИНГА.....	28
Новиков А.В. КОНФОРМНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ КАК СПОСОБ УЧЁТА НЕРОВНОСТЕЙ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ РАДИОВОЛН.....	31
Новиков А.В. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕРОВНОСТЕЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ТРОПОСФЕРЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ УКВ-ДИАПАЗОНА.....	34
Шаврин В.В. ЗАДАЧА КАЛИБРОВКИ БЕСПЛАТФОРМЕННЫХ ДАТЧИКОВ УСКОРЕНИЯ И УГЛОВОЙ СКОРОСТИ В КОМПЛЕКСИРОВАННЫХ	

ИНЕРЦИАЛЬНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ.....	37
Шиханцов А.М. ЛИДАРНАЯ СТАНЦИЯ СУРГУТСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА.....	39
Симахин В.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИГНАЛОВ РАДИОВЫСОТОМЕРОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА ЗАДЕРЖЕК КАНАЛА РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН	41
Скоторенко И.В. ВЛИЯНИЕ ФАЗОВЫХ ШУМОВ СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДОПЛЕРОВСКИХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ	44
Танцай П.И., Корниенко В.Г. СУТОЧНЫЙ ХОД ПОГРЕШНОСТИ СИНХРОНИЗАЦИИ ШКАЛ ВРЕМЕНИ ПРОСТРАНСТВЕННО РАЗНЕСЕННЫХ ПУНКТОВ	47
Цугланов В.В. АЛГОРИТМ ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ В АМПЛИТУДНОМ ПЕЛЕНГАТОРЕ.....	49
Цугланов В.В. МЕЖСПУТНИКОВАЯ СЕТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ ГРУППИРОВКИ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ПАССИВНОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ.....	52
Уйданов П.В. МЕТОДЫ ФИЛЬТРАЦИИ ИНФОРМАТИВНОГО СООБЩЕНИЯ И ИХ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ	54
Захаров Ф.Н., Беликов В.С., Васильев А.А. ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМЫ ПОГЛОЩАЮЩЕГО СЛОЯ ПРИ ЧИСЛЕННОМ РЕШЕНИИ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ	57

СЕКЦИЯ 2

ЗАЩИЩЕННЫЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

*Председатель – А.М. Голиков, к.т.н., доцент каф. РТС;
зам. председателя – Бернгардт А.С., доцент каф. РТС, к.т.н.*

Борисов Р.В. СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ГОЛОСОВОГО ОТПЕЧАТКА ДИКТОРА ...	60
Бурмистрова Т.Ю., Коновалова И.А. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ЗАЩИЩЕННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ ПЛАТЕЖЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ.....	63
Ефремов П.Е., Макаров Н.В. ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОКАНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПЕРЕДАЧИ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ ПО ЗАЩИЩЕННЫМ IP VPN-КАНАЛАМ.....	65

Харитонюк В.В., Голиков А.М.	
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ LABVIEW ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ СВЯЗИ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ МНОГОУРОВНЕВЫЕ ВИДЫ МОДУЛЯЦИИ СИГНАЛОВ.....	69
Кузьменко Ю.Д.	
ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ AES И ЕГО АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ...	71
Ляпин И.Ю.	
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПО LABVIEW	73
Логиннов С.С.	
ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ГОСТ 28147–89 И ЕГО АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ.	75
Лыскова К.В.	
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАЗВЕРТЫВАНИЯ СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ MICROSOFT WINDOWS SERVER 2003	78
Нефедьев Г.В.	
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАЗВЕРТЫВАНИЯ И АДМИНИСТРИРОВАНИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ WEB-СЕРВЕРА IIS 7.0 НА WINDOWS SERVER 2008 R2	81
Немтаев М.Т.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВСТРОЕННЫХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ MICROSOFT ISA SERVER 2006	83
Нестеренко Н.Н.	
ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ СКРЕМБЛИРОВАНИЯ И СТЕГАНО- ГРАФИИ И ИХ АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ.....	87
Пилюгина И.В.	
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ.....	90
Плютов Д.Н.	
РАЗРАБОТКА ЗАЩИЩЕННОГО WEB-СЕРВЕРА ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ	94
Почикаева М.С.	
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОГО МУЛЬТИМЕДИЙНОГО INTERNET САЙТА ДЛЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ	96
Рябинин Е.А., Голиков А.М.	
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ LABVIEW ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ЕЕ ПЕРЕДАЧИ ПО ЗАЩИЩЕННЫМ IP-КАНАЛАМ ...	98
Санников Е.С.	
ПРОТОКОЛ УДАЛЕННОГО ДОСТУПА	99
Синегубов П.А., Голиков А.М.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ	101

Сулейманов А.В. ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ SETTORBOX.....	104
Уваровский Д.В., Голиков А.М. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФРАКТАЛЬНЫХ И ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В LabVIEW.....	105

СЕКЦИЯ 3

АУДИОВИЗУАЛЬНАЯ ТЕХНИКА, БЫТОВАЯ РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА И СЕРВИС

*Председатель – Пустынский И.Н., зав. каф. ТУ, д.т.н., профессор;
зам. председателя – Костевич А.Г., к.т.н., с.н.с. каф. ТУ НИЧ*

Бевзенко И.Г., Заболоцкий А.М. ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АНТИПОДА НА ВРЕМЕННОЙ И ЧАСТОТНЫЙ ОТКЛИКИ ДВУХ ОТРЕЗКОВ ПЛОСКОГО ТРЕХПРОВОДНОГО КАБЕЛЯ.....	110
Бянкина С.В., Базаржапова Р.Р. СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И НАБЛЮДЕНИЯ.....	113
Дементьев А.С. ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОРПУСА БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ ТОНКОПРОВОДНОЙ АППРОКСИМАЦИЕЙ.....	116
Долганов Е.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК МАКЕТА МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА НА ОСНОВЕ ЛИНИИ С ЛИЦЕВОЙ СВЯЗЬЮ.....	119
Калимулин И.Ф. МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ ЦИФРОВЫХ МИКРОСХЕМ НА ЯЗЫКЕ DIGITAL SIMCODE.....	121
Калимулин И.Ф., Заболоцкий А.М. СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ВОСЬМИРАЗЯДНОГО РЕГИСТРА 1554ИР35ТЕМ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ALTIUM DESIGNER.....	124
Комнатнов М.Е., Куксенко С.П. СРАВНЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ БИБЛИОТЕК ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ДАННЫХ.....	127
Орлов П.Е. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОГОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ КОРРЕКТНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ КВАЗИСТАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	129
Попов А.С. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ЗОН ПОКРЫТИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАТЧИКОВ.....	132

Салов В.К. УСКОРЕНИЕ ИТЕРАЦИОННЫХ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ СЛАУ ЗА СЧЁТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ	135
Смирнова М.К., Заболоцкий А.М. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦЕПЕЙ ЗЕМЛЯ–ПИТАНИЕ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ В СИСТЕМЕ TALGAT-2010.....	138
Суровцев Р.С. ОБЗОР МЕТОДОВ БЛОЧНОГО LU-РАЗЛОЖЕНИЯ.....	141
Вахрушева А.С., Долганов Е.С. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЕЧАТНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА НА ПОДЛОЖКЕ ИЗ СТЕКЛОТЕКСТОЛИТА ПО КРИТЕРИЮ МАКСИМАЛЬНОЙ РАЗНОСТИ ПОГОННЫХ ЗАДЕРЖЕК МОД.....	144
Васильева М.И., Степанова Е.Г., Латышев А.Ю. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ШЛЕЙФОВ ОХРАННЫХ ПАНЕЛЕЙ	146

СЕКЦИЯ 4

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИМЕДИЦИНСКОЙ АППАРАТУРЫ

*Председатель – Еханян С.Г., профессор КУДР, д.ф.-м.н.,
зам. председателя – Романовский М.Н., доцент каф. КУДР, к.т.н.*

Богатырева Д.В., Сапегина Н.В., Тимохин М.А., Томашевич А.А. ИЗУЧЕНИЕ ДЕГРАДАЦИИ СВЕТОДИОДНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ ВАХ В ОБЛАСТИ МИКРОТОКОВ	150
Дроздов Ю., Томашевич А.А. ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ГЕНЕРАТОР ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ.....	153
Ермолаев А.В., Мотрунчик К.В. ОЦЕНКА КОНЦЕНТРАЦИИ АЭРОИОНОВ НА ВЫХОДЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ И ИОНИЗАТОРА ВОЗДУХА.....	155
Майборода К.В., Прилипкин С.В. ОЦЕНКА КОНЦЕНТРАЦИИ РАДОНА И ЕГО ПРОДУКТОВ РАСПАДА В ГЛАВНОМ КОРПУСЕ ТУСУРА	156
Ермолаев А.В., Мотрунчик К.В. БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ И ИОНИЗАТОРА ВОЗДУХА	159
Тен И.С., Худякова Е.С. ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ЩГК.....	162
Тукаль С.К., Аланаева М.В. ПОЛИХРОМНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ ДЛЯ АППАРАТОВ ВИЗУАЛЬНОЙ СВЕТОТЕРАПИИ	165

СЕКЦИЯ 5

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Председатель – Лоцилов А.Г., с.н.с., СКБ «Смена», к.т.н.;
зам. председателя – Бомбизов А.А., м.н.с. СКБ «Смена»

Артищев С.А. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ НЕЛИНЕЙНЫЙ РЕФЛЕКТОМЕТР	168
Бомбизов П.В. УПРАВЛЯЕМЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ	171
Фролов А.В. ТЕРМОСТАБИЛИЗАТОР ВНУТРЕННЕЙ КАЛИБРОВКИ РАДИОМЕТРА	173
Ильченко И.В. КВАДРАТИЧНЫЙ ДЕТЕКТОР ДЛЯ БЛОКА НИЗКОЧАСТОТНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В РАДИОМЕТРЕ С ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПОДШУМЛИВАНИЕМ.....	175
Караульных С.П. ЭЛЕКТРОННЫЙ КОММУТАТОР ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ.....	178
Карпов К.А., Слепцов С.Ю., Конников А.С., Мартынова А.С. ПРОБЛЕМА НЕПРЕРЫВНОЙ ЗАПИСИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ РАБОТЕ АВТОНОМНОГО ПРИБОРА.....	180
Хисамиев И.О. МАКЕТ ПЛАТЫ СОПРЯЖЕНИЯ НА БАЗЕ ИНТЕРФЕЙСА PXI	183
Киселёв П.С., Альпимов Р.А. РЕАЛИЗАЦИЯ ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА РАСЧЕТА ПЕРВИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛОСКОВЫХ ЛИНИЙ.....	185
Лазько М.А. ИМПУЛЬСНЫЙ РЕФЛЕКТОМЕТР НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ NATIONAL INSTRUMENTS.....	189
Михеев Ф.А., Фатеев А.В. СВЕРШИРОКОПОЛОСНЫЙ НАПРАВЛЕННЫЙ МОСТ ДИАПАЗОНА ОВЧ.....	192
Осипов К.Ю., Кручинкин А.В. МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ ГЕТЕРОТРАНЗИСТОРОВ ПРИ ПОМОЩИ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	195
Параев Д.Е. СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, ОСНОВАННОЙ НА НУЛЕВОМ МЕТОДЕ ИЗМЕРЕНИЯ	198
Савченко А.Д. СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТЫ ДЛЯ СТРОБОСКОПИЧЕСКОГО АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ.....	201

Смирнов С.И. ЭКСТРАКЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ДИОДА С НАКОПЛЕНИЕМ ЗАРЯДА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА ПЕРЕХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ	203
Смирнов С.И. РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАКЕТА ГЕНЕРАТОРА ПЕРЕПАДА НАПРЯЖЕНИЙ СУБНАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ НА ОСНОВЕ ДИОДА С НАКОПЛЕНИЕМ ЗАРЯДА..	206
Смирнов С.И. РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА ИМПУЛЬСОВ СУБНАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ	209
Тарасов И.С. МАКЕТ ЦИФРОВОГО БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ МНОГОКАНАЛЬНОЙ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ	211
Убайчин А.В. ОПОРНЫЙ ГЕНЕРАТОР ШУМА ДИАПАЗОНА СВЧ ДЛЯ РАДИО- МЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НУЛЕВОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ С ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПОДШУМЛИВАНИЕМ	213

СЕКЦИЯ 6

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ *Председатель – Катаев М.Ю., профессор каф. АСУ, д.т.н., зам. председателя – Бойченко И.В., доцент каф. АСУ, к.т.н.*

Ашиток М.А., Губанова Н.О. ОТОБРАЖЕНИЕ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ О ГАЗОВОМ СОСТАВЕ АТМОСФЕРЫ В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ.	218
Хамаганов Я.А. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ТОЧНОСТЬ НАХОЖДЕНИЯ ЦЕНТРА МАСС ФИГУРЫ ЧЕЛОВЕКА НА ИЗОБРАЖЕНИИ	220
Кривенцов Д.М. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ	222
Кузьмин М.С. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ЛИЦА НА ИЗОБРАЖЕНИИ	225
Лапин А.Е., Кандыбаев А.А. ОТКРЫТАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЯЮЩЕЙ КОМПАНИИ В РАМКАХ ПАРАДИГМЫ СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННОЙ АРХИТЕКТУРЫ.....	227
Кагиров Р.Р., Набеева Э.Р., Серко А.И. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОГО КОНТРОЛЛЕРА В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ....	228
Пяк П.А. СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА.....	230

Уколов Р.И., Катаев М.Ю. ГРАФИЧЕСКИЕ ЯЗЫКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ..	233
Зиновьев А.В. УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ СПУТНИКОВЫХ СИГНАЛОВ	234
Сулейманов А.В. ВОЗМОЖНОСТИ СЕТТОРВОХ	235
Лукьянов А.К. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МОДЕЛИРОВАНИИ И ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ	236
Лукьянов А.К. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ВИДЕО ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ ПРИСТАВКИ	237
Харичкина Е.О. ЭКОНОМИКА ИНТЕРНЕТ-УСЛУГ	239

СЕКЦИЯ 7

ОПТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАНОФОТОНИКА И ОПТОЭЛЕКТРОНИКА

Председатель – Шарангович С.Н., проф., зав. каф. СВЧиКР, к.ф.-м.н.;
зам. председателя – Буримов Н.И., зав. УНЛ каф. ЭП НИИЧ, к.т.н.

Дашин Н.А., Ибрагимов И.С., Чернышев П.А., Ноздреватых Б.Ф., Хатьков Д.Н. КОГЕРЕНТНО-ОПТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАНОКОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРОВ	240
Фёдоров К.В., Фёдоров В.Ф., Губарев Ф.А. ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ БРОМИДА МЕДИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ	242
Филь А.А. НЕЛИНЕЙНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ И ИОНИЗАЦИЯ АТОМАРНЫХ И МОЛЕКУЛЯРНЫХ ГАЗОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ.	245
Гребенчуков А.Н., Зуев П.В., Пекарский Е.А., Кабанова Л.А. ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ТЕМНОВОГО ТОКА В КРИСТАЛЛЕ $Bi_{12}TiO_{20} \cdot Fe$	248
Иванов М.С., Маркин А.О., Мухтубаев А.Б., Рябченко В.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНАРНЫХ ВОЛНОВОДОВ С ВЫТЕКАНИЕМ СВЕТА НА ОСНОВЕ НИОБАТА ЛИТИЯ	251
Калугин К.С. ЗАВИСИМОСТЬ ЦВЕТОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТ СИЛЫ СВЕТА ОСНОВНЫХ ЦВЕТОВ RGB СВЕТОДИОДА	254
Казакковская О.Г., Зайцева О.В. ОПТИЧЕСКИЙ УЗЕЛ НА ОСНОВЕ ПЬЕЗОКЕРАМИКИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ОПТИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ	256

Харенков В.А.	
РОЛЬ РАССЕЯНИЯ В РАЗВИТИИ СУПЕРЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В КОМПОЗИТНЫХ СРЕДАХ «РАСТВОР КРАСИТЕЛЯ – НАНОЧАСТИЦЫ»...	259
Кособуцкий А.В.	
ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ФОТОДЕТЕКТОР НА ОСНОВЕ НАНОГЕТЕРОСТРУКТУРЫ Ge/Si.....	262
Костяной Ю.А.	
ПРИЁМОПЕРЕДАЮЩИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ АТМОСФЕРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ.....	265
Костяной Ю.А.	
МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛОВ АТМОСФЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ ПРИЁМОПЕРЕДАЮЩИХ МОДУЛЕЙ.....	268
Котин А.С., Шамаков С.С.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА.....	271
Кожанов Д.С.	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА НА ОСНОВЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА ЖАМЕНА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕЛИНЕЙНЫХ КРИСТАЛЛОВ.....	274
Козлова С.М.	
ТРАНСФОРМАЦИЯ АМПЛИТУДНЫХ ПРОФИЛЕЙ ПУЧКОВ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО СЕЧЕНИЯ В НЕЛИНЕЙНОМ ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ ФАБРИ-ПЕРО НА ОСНОВЕ НИОБАТА ЛИТИЯ.....	277
Мамаев А.Л.	
ИСПЫТАНИЕ УПРАВЛЯЕМОГО ЗЕРКАЛА ДЛЯ АДАПТИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ БОЛЬШОГО СОЛНЕЧНОГО ВАКУУМНОГО ТЕЛЕСКОПА.....	280
Мамбетова К.М.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ РЕШЕТОК В КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ.....	283
Мельник К.П., Михайлова М.В.	
ИНТЕРФЕРОМЕТР МАХА–ЦАНДЕРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В НЕЛИНЕЙНЫХ КРИСТАЛЛАХ.....	286
Михайлова М.В., Мельник К.П.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В НЕЛИНЕЙНЫХ ОПТИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ НА БАЗЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА МАХА–ЦАНДЕРА.....	289
Монахова М.В.	
ФОРМИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ТРАНСПАРАНТОВ В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ ПРОЕКЦИОННЫМ МЕТОДОМ	292
Николаенко В.С.	
МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕГО РАЗМЕРА ЧАСТИЦ ПО ИХ ГОЛОГРАММЕ.....	295

Новиков В.А. ЭЛЕКТРОННЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОГЕТЕРОСТРУКТУР Ge/Si	298
Лисовский А.В., Ольджебаев М.А., Семкин А.О. НЕЛИНЕЙНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ ПРИ ГОЛОГРАФИЧЕСКОМ ФОРМИРОВАНИИ ФОТОННЫХ СТРУКТУР В ФПМ-МАТЕРИАЛАХ	300
Парханюк А.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ВКЛАДА ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИФРАКЦИИ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ В КРИСТАЛЛАХ НИОБАТА ЛИТИЯ	303
Перин А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ АВТОСОЛИТОННОГО РЕЖИМА В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ ФАБРИ-ПЕРО	306
Попугаева В.В., Русякина О.А., Дю В.Г., Акрестина А.С. ФОТОИНДУЦИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В КРИСТАЛЛЕ $Bi_{12}TiO_{20}\cdot Ca, Ga$, НАВЕДЕННЫЕ ИНФРАКРАСНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ	309
Лисовский А.В., Ольджебаев М.А., Семкин А.О., Шарангович С.Н. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ ФОТОННЫХ СТРУКТУР В ФОТОПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ	312
Анисимов Д.О., Бородин М.В., Щербина В.В. ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ПЛАНАРНОЙ ВОЛНОВОДНОЙ СТРУКТУРЫ $Zn:LiNbO_3$	316
Шмаков С.С., Дубровин А.Н., Мандель А.Е., Шандаров С.М. ТЕМПОРЕГУЛЯТОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ОПТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В КРИСТАЛЛАХ	318
Бородин М.В., Смычков С.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛНОВОДНЫХ СВОЙСТВ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ GaN, ВЫРАЩЕННОЙ НА ПОДЛОЖКЕ ИЗ САПФИРА	321
Тренихин П.А. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПРОФИЛЕЙ СВЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ ФОТОННЫХ СВЕРХРЕШЕТКАХ	324
Власова А.А., Сюаева О.С., Бородин М.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ВТОРОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ГАРМОНИКИ В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ ПО НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИКЕ	326
Донченко В.А., Землянов Ал.А., Панамарев Н.С., Харенков В.А. ВЛИЯНИЕ РАССЕЯНИЯ НА РАЗВИТИЕ СУПЕРЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В КОМПОЗИТАХ «РАСТВОР КРАСИТЕЛЯ – НАНОЧАСТИЦЫ»	329

Для заметок

Научное издание

Научная сессия ТУСУР–2011

Материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2011»

4–6 мая 2011 г.

В шести частях

Часть 1

**Корректор – В.Г. Лихачева
Верстка В.М. Бочкаревой**

Издательство «В-Спектр».
Сдано на верстку 01.04.2011. Подписано к печати 25.04.2011.
Формат 60×84¹/₁₆. Печать трафаретная.
Печ. л. 21,5. Усл. печ. 20,3.
Тираж 150 экз. Заказ 12.

Тираж отпечатан в издательстве «В-Спектр».
ИНН/КПП 7017129340/701701001, ОГРН 1057002637768
634055, г. Томск, пр. Академический, 13-24, т. 49-09-91.
E-mail: bvm@sibmail.com