

Министерство образования и науки Российской Федерации
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

**VI Международная
научно-практическая конференция**

ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Материалы докладов

13–16 октября 2010 г.

**В двух частях
Часть 1**

**В-Спектр
Томск 2011**

УДК 621.37/39 + 681.3
ББК (Ж/О) 32.84.85.965
Э 45

Э 45 Электронные средства и системы управления: Материалы докладов Международной научно-практической конференции (13–16 октября 2010 г.). – Томск: В-Спектр, 2011: В 2 ч. – Ч. 1. – 154 с.
ISBN 978-5-91191-221-X (в 2 частях)
ISBN 978-5-91191-222-8 (ч. 1)

Книга содержит материалы докладов, представленных на VI Международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления» (Томск, 13–16 октября 2010 г.). Представлены доклады по следующим направлениям: радиотехнические и телекоммуникационные системы; наноэлектроника СВЧ; нанотехнологии в электронике; антенны и микроволновые устройства СВЧ; квантовая электроника, нелинейная оптика; интеллектуальная силовая электроника и преобразовательная техника; физическая и плазменная электроника; биомедицинская электроника; автоматизация и оптимизация систем управления и обработка информации; интеллектуальные системы проектирования, автоматизация проектирования электронных устройств и систем; информационная безопасность; информационные технологии в управлении и принятии решений; информационные технологии в обучении; инновации в сфере электроники и управления; электроника, оптоэлектроника и фотоника; видеоинформационные технологии и цифровое телевидение; измерение параметров ВЧ- и СВЧ-цепей. Также представлены доклады участников Программы фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере «У.М.Н.И.К.».

Для студентов, преподавателей и всех интересующихся проблемами систем управления.

УДК 621.37/39 + 681.3
ББК (Ж/О) 32.84.85.965

Ответственный редактор – Н.Д. Малютин, д.т.н., профессор

*Статьи секций 1, 3, 4, 6 размещены в сборнике статей
«Доклады» ТУСУРа №2 (22), ч. 1, 2; декабрь 2010 г.*

ISBN 978-5-91191-221-X (в 2 частях)
ISBN 978-5-91191-222-8 (ч. 1)

© ТУСУР, 2011
© Коллектив авторов, 2011

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Председатель – Шарыгин Герман Сергеевич, зав. каф. РТС, д.т.н., проф.

УДК 621.372.823

РАСЧЕТ ДИСПЕРСИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА ПРИ ПРОДОЛЬНОМ ПОДМАГНИЧИВАНИИ

Г.Б. Итигилов

В аналитическом виде получены дисперсионные уравнения, с помощью которых на единой основе проводится анализ распространения электромагнитных волн в эллиптических волноводах как с ферритовым, так и с воздушным заполнением.

Ключевые слова: феррит, уравнения Максвелла, уравнения Матъе, волновые уравнения, граничные условия.

Линии передачи (волноводы) и резонаторы составляют основу устройств сверхвысокочастотного (СВЧ), крайне высокочастотного (КВЧ) диапазонов электромагнитных волн. Использование намагниченных ферритов в таких устройствах позволяет выполнить две основные задачи: обеспечение невзаимности и управление параметрами системы [1].

Эллиптические волноводы по сравнению с круглыми обладают рядом преимуществ: меньшим затуханием, способностью сохранять поляризацию передаваемого излучения и т.д. [2, 3]. Однако в настоящее время существует мало работ, посвященных анализу эллиптических волноводов с ферритовым заполнением.

Настоящая работа посвящена составлению и анализу дисперсионных уравнений эллиптических волноводов с ферритовым заполнением при продольном подмагничивании. При этом возможен анализ дисперсионных свойств при различных значениях эксцентриситета эллипса, включая предельный переход к круглому волноводу.

Обычно форма поперечного сечения определяет выбор системы координат. Следовательно, данный волновод жестко связан с эллиптической системой координат, которая представляет собой семейство софокусных эллипсов и гипербол. Тензор кривизны описывает кривизну в поперечной плоскости по обеим поперечным осям. Координаты ξ и φ изменяются в пределах $0 \leq \xi \leq \infty$, $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ и связаны с прямоугольными координатами: $X = e \cdot \text{ch}(\xi)$, $Y = e \cdot \text{sh}(\xi)$, где e – фокусное расстояние.

Будем рассматривать устоявшийся во времени процесс, т.е. без наведенных токов и зарядов. Рассмотрим волны, движущиеся только в положительном направлении оси Z . Их зависимость от координаты Z описывается выражением $e^{-j\gamma Z}$, где γ – постоянная распространения.

Уравнение Максвелла с учетом принятых допущений примет вид [4]

$$\begin{cases} \operatorname{rot} \bar{H} - \frac{\partial \bar{D}}{\partial t} = 0; \operatorname{div} \bar{D} = 0; \\ \operatorname{rot} \bar{E} + \frac{\partial \bar{B}}{\partial t} = 0; \operatorname{div} \bar{B} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где \bar{E} , \bar{H} – соответственно напряженности электрического и магнитного полей; \bar{D} , \bar{B} – соответственно электрическая и магнитная индукции.

Система (1) дополняется материальными уравнениями среды:

$$\bar{D} = \|\varepsilon\| \bar{E}, \quad \bar{B} = \|\mu\| \bar{H}, \quad (2)$$

где $\|\varepsilon\|$ – тензор диэлектрической проницаемости, а $\|\mu\|$ – магнитной.

При продольном подмагничивании ось Z эллиптического волновода совпадает с внешним подмагничивающим полем. В этом случае тензор магнитной проницаемости примет эрмитовый вид [4]

$$\|\mu\| = \begin{bmatrix} \mu & jk & 0 \\ -jk & \mu & 0 \\ 0 & 0 & \mu_{\parallel} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где k, μ, μ_{\parallel} – компоненты тензора; j – мнимое число; $\mu = 1 + \frac{w_0 w_M}{w_0^2 - w^2}$;

$k = \frac{w w_M}{w_0^2 - w^2}$; w – циклическая частота; $w_M = \mu_0 \gamma M_0$; $\gamma = 1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг – гиро-

магнитное отношение для спина; $w_0 = \mu_0 \gamma H_0$ – частота ферромагнитного резонанса; M_0 – намагниченность насыщения феррита; H_0 – постоянное внешнее магнитное поле.

Разложив операцию *rot* системы (1) по осям, используя выражение (3), в [5] были получены волновые уравнения для ЕН-волны:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 E_z}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 E_z}{\partial \varphi^2} + \frac{g_+^2 g_-^2}{2a^2} e^2 (ch 2\xi - \cos 2\varphi) E_z = 0; \\ \frac{\partial^2 H_z}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 H_z}{\partial \varphi^2} = 0, \end{cases} \quad (4)$$

где $a^2 = w^2 \varepsilon \mu - \gamma^2$; $g_+^2 = w^2 \varepsilon \mu + w^2 \varepsilon k - \gamma^2$; $g_-^2 = w^2 \varepsilon \mu - w^2 \varepsilon k - \gamma^2$;
 $d = \frac{1}{2} \sqrt{ch(2\xi) - \cos(2\varphi)}$; $q^2 = w^2 \varepsilon \frac{\mu^2 - k^2}{\mu} - \gamma^2$; e – фокусное расстояние,

а также для НЕ-волны:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 H_z}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 H_z}{\partial \varphi^2} + \frac{\mu_{\parallel}}{2\mu} \frac{g_+^2 g_-^2}{c^2} e^2 (ch 2\xi - \cos 2\varphi) H_z = 0; \\ \frac{\partial^2 E_z}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 E_z}{\partial \varphi^2} = 0, \end{cases} \quad (5)$$

где $c^2 = w^2 \varepsilon \frac{\mu^2 - k^2}{\mu} - \gamma^2$.

Из выражений (4) и (5) видно, что при продольном подмагничивании распространяются чистые Е- и Н-волны.

Рассмотрим решение волнового уравнения ЕН – обыкновенной волны. Для решения волнового уравнения (4) применим метод разделения переменных [6]. Будем искать решение в виде $E_z = E_\xi E_\varphi$, где E_z – функция двух переменных (ξ, φ) , E_ξ – функция одного ξ , а E_φ – функция одного φ . Из первого уравнения (4) получаем два дифференциальных уравнения второго порядка:

$$\begin{cases} \frac{d^2 E_\varphi}{d\varphi^2} + \left(b - \frac{g_+^2 g_-^2}{2a^2} e^2 \cos 2\varphi \right) E_\varphi = 0; \\ \frac{d^2 E_\varphi}{d\xi^2} - \left(b - \frac{g_+^2 g_-^2}{2a^2} e^2 \operatorname{ch} 2\xi \right) E_\xi = 0, \end{cases} \quad (6)$$

где b – постоянная разделения.

Введем обозначение: $q = \frac{g_+^2 g_-^2}{4a^2} e^2$. С учетом введенного обозначения выражение (6) принимает следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{d^2 E_\varphi}{d\varphi^2} + (b - 2q \cos 2\varphi) E_\varphi = 0; \\ \frac{d^2 E_\varphi}{d\xi^2} - (b - 2q \operatorname{ch} 2\xi) E_\xi = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Выражение (7) представляет собой уравнение Матье в канонической форме с действительными b и q . Первое уравнение (7) известно как обыкновенное уравнение Матье, а второе – модифицированное уравнение Матье [6].

Граничное условие для ЕН-волны заключается в том, что $E_z = 0$ на внутренней поверхности волновода, где $\xi = \xi_0$. Поэтому имеем:

$$\begin{cases} C e_m(\xi_0, q) = 0, \\ S e_m(\xi_0, q) = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Теперь рассмотрим решение волнового уравнения НЕ-волны. Как и для случая ЕН- волны, первое уравнение системы (5) решается методом разделения переменных:

$$\begin{cases} \frac{d^2 E_\varphi}{d\varphi^2} + (b - 2q \cos 2\varphi) E_\varphi = 0; \\ \frac{d^2 E_\varphi}{d\xi^2} - (b - 2q \operatorname{ch} 2\xi) E_\xi = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Это уравнение совпадает с выражением (7), только здесь значение q отличается от случая ЕН-волны и имеет вид

$$q = \frac{\mu_{||}}{4\mu} \frac{g_+^2 g_-^2}{c^2} e^2. \quad (10)$$

Граничное условие для НЕ-волны:

$$\left. \frac{\partial H_z}{\partial \xi} \right|_{\xi=\xi_0} = 0. \quad (11)$$

Вследствие того, что волновое уравнение решается методом разделения переменных, необходимо, чтобы поперечные волновые числа:

$$K_\xi^2 + K_\varphi^2 = K^2, \quad (12)$$

где $K_\xi^2 = -b + 2q \operatorname{ch} 2\xi$, $K_\varphi^2 = b - 2q \cos 2\varphi$, $a^2 = w^2 \varepsilon \mu - \gamma^2$, а K^2 – поперечное волновое число, т.е. выражение, стоящее перед E_z (для обыкновенной волны) или H_z (для необыкновенной волны).

Используя выражения (4) и (12), получим:

$$K_\xi^2 + K_\varphi^2 = \frac{g^2 + g_-^2}{2a^2} e^2 (\operatorname{ch} 2\xi - \cos 2\varphi). \quad (13)$$

Решая (13), получим дисперсионное уравнение ЕН-волны эллиптического волновода с ферритовым заполнением при продольном подмагничивании:

$$\gamma_{1,2} = \sqrt{w^2 \varepsilon \mu - \frac{2q}{e^2}} \pm \sqrt{w^4 e^2 k^2 + \frac{4q^2}{e^4}}. \quad (14)$$

Как и в предыдущем случае, используя выражения (5) и (12), получим следующее дисперсионное уравнение НЕ-волны эллиптического волновода с ферритовым заполнением при продольном подмагничивании:

$$\gamma_{1,2} = \sqrt{w^2 \varepsilon \mu - \frac{2\mu q}{\mu_{||} e^2}} \pm \sqrt{w^4 \varepsilon^2 k^2 + \frac{4\mu^2 q^2}{\mu_{||}^2 e^4} - \frac{4w^2 \varepsilon k^2}{\mu_{||} e^2}}. \quad (15)$$

Таким образом, полученные дисперсионные уравнения (14) и (15) показывают, что постоянная распространения зависит от геометрических размеров волновода, частоты, намагниченности феррита и приложенного постоянного магнитного поля.

Литература

1. Микаэлян А.Л. Теория и применение ферритов на сверхвысоких частотах. Л.: Госэнергоиздат, 1963. 664 с.
2. Гончаренко А.М., Карпенко В.А. Основы теории оптических волноводов. 2-е изд., испр. М.: Едиториал, УРСС, 2004. 220 с.
3. Ефимов И.Е., Шермина Г.А. Волноводные линии передачи. М.: Связь, 1979. 232 с.
4. Григорьев А.Д. Электродинамика и микроволновая техника: Учеб. 2-е изд., доп. СПб.: Изд. Лань, 2007. 704 с.
5. Базаров Б.Б., Итигилов Г.Б., Ким Ю.А. Анализ эллиптического волновода с гиротропным заполнением при продольном подмагничивании // Электродинамика и техника СВЧ, КВЧ и оптических частот. 2001. Т. 9, №2(30). С. 29–33.
6. Мак-Лахлан Н.В. Теория и приложение функций Матье / Пер. с англ. В.А. Братановского. М.: Изд-во иностранной литературы, 1953. 475 с.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БОРТОВЫХ РЕТРАНСЛЯТОРОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А.Г. Логвинов, А.В. Капелько, Д.А. Зедин

Представлены результаты моделирования широкополосных измерений частотных характеристик бортовых ретрансляторов космических аппаратов посредством использования сверхкоротких импульсов. Рассчитаны систематические погрешности измерений.

Ключевые слова: сверхкороткий импульс, спутниковый ретранслятор, широкополосные измерения, групповая задержка, амплитудно-частотная характеристика.

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. Так как в настоящее время измерение ВЧ-характеристик БРТК выполняются поствольно, 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» [6].

Поскольку амплитуда спектра используемого сверхкороткого импульса не постоянна во всем частотном диапазоне (см. рис. 1), то в результате измерений появится систематическая погрешность (Δ) 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.

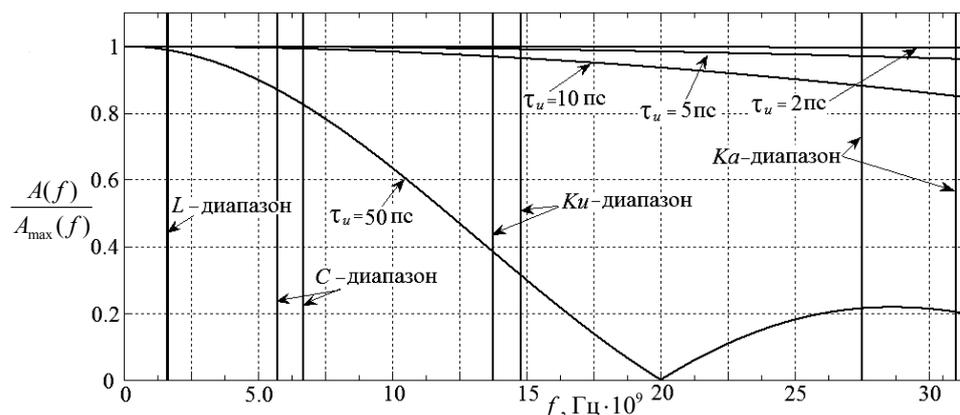


Рис. 1. Амплитудные спектры разных тестирующих импульсов и частотные диапазоны

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>Kи</i>	0,014	0,118	0,493	18,54
<i>Ка</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 многоствольного БРТК, имитирующая прохождение ВЧ-сигналов через стволы. Модель создана в САПР *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 БРТК.

Высокочастотные параметры элементов, 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.

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 [1–3].

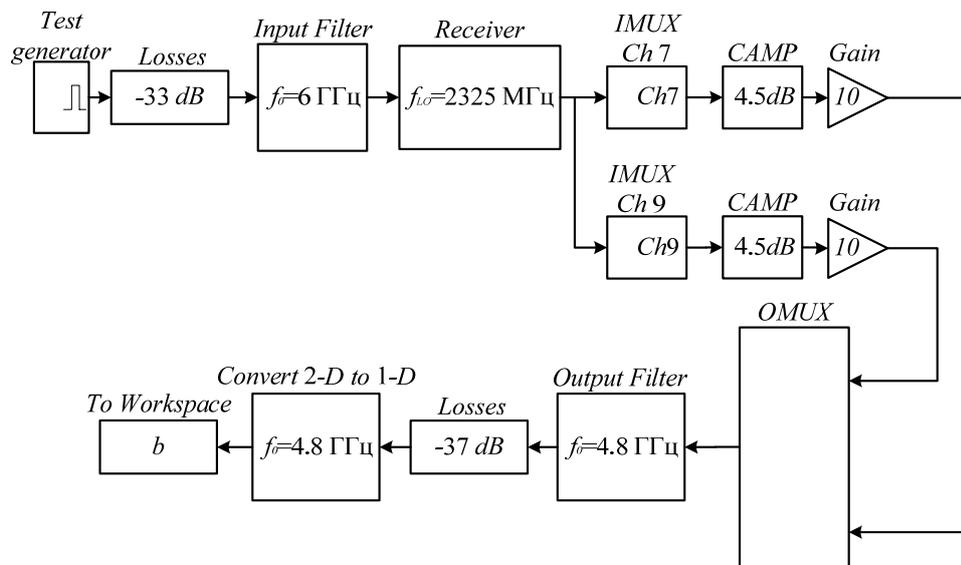


Рис. 2. Модель для измерений частотных характеристик БРТК

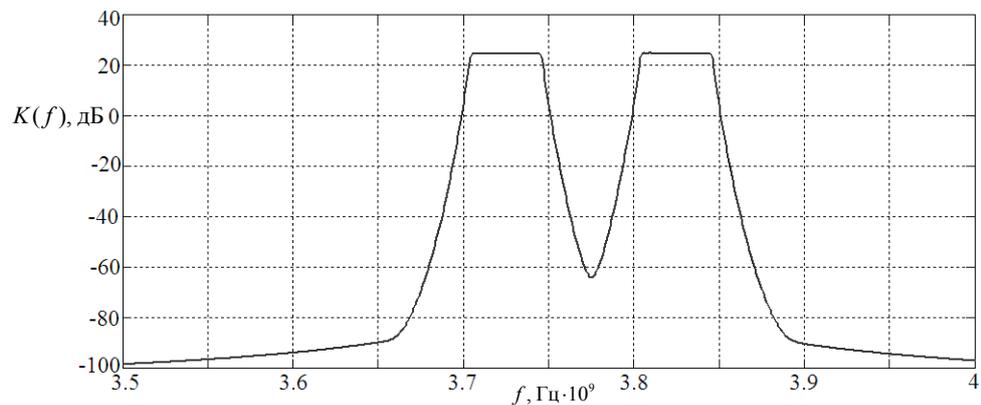
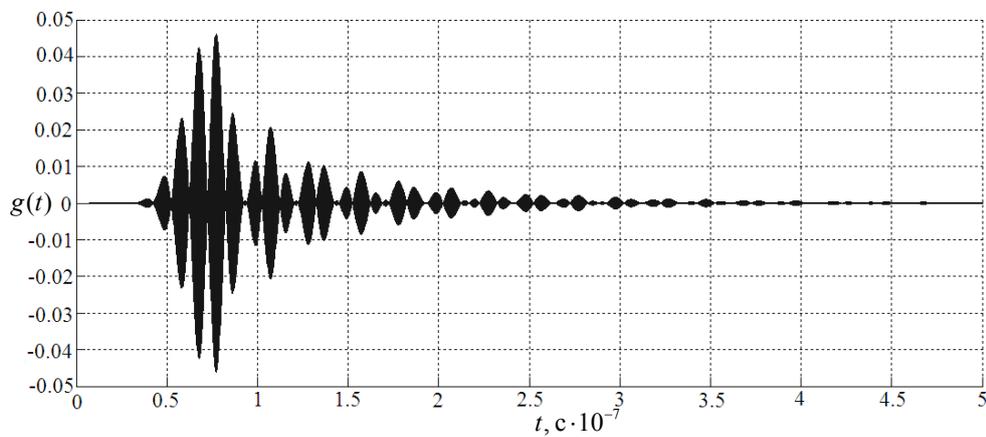


Рис. 3. Отклик модели на воздействие сверхкороткого импульса и АЧХ модели

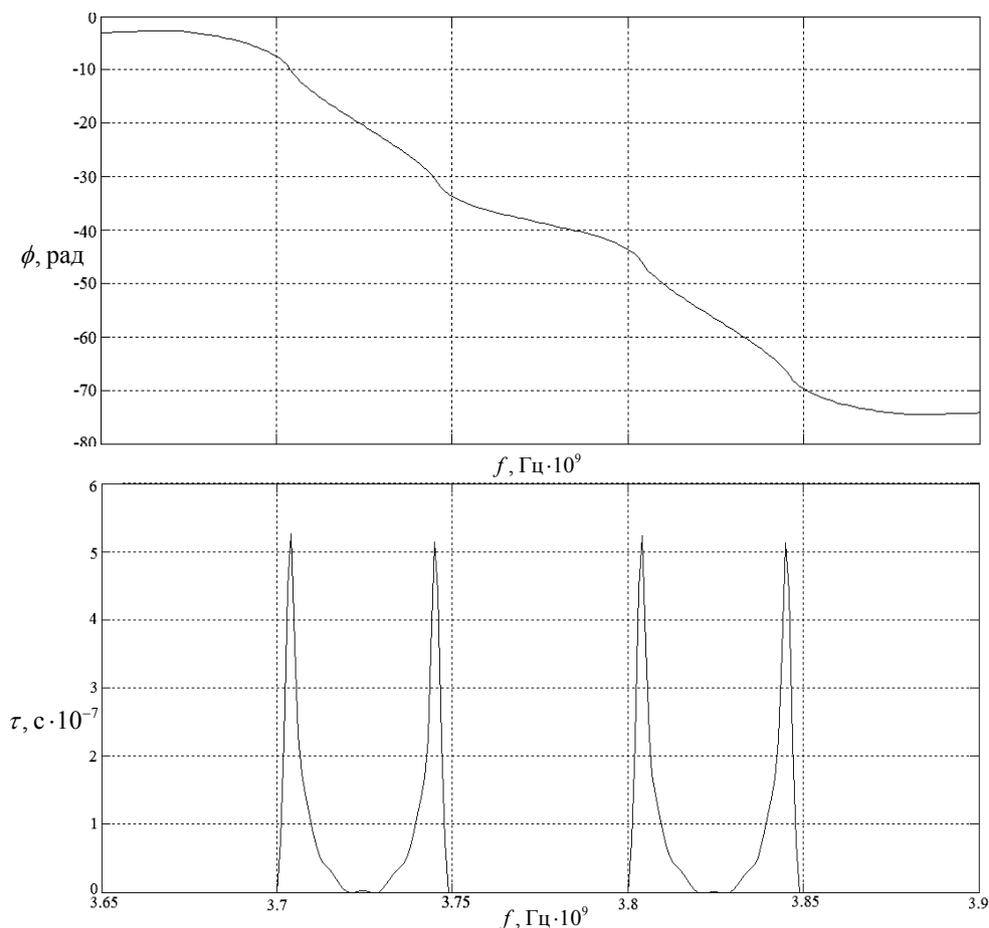


Рис. 4. ФЧХ и ГВЗ модели БРТК

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. Генераторы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.elvo-connection.ru/index.php?look=1134762891>, свободный.
2. Генераторы [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.trimcom.ru/index.php?level=russian_nextchild_of_1177748805&time=1177749180, свободный.
3. Генераторы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mprofit.ru/catalog161.htm>, свободный.
4. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MatLab, SimPowerSystems и Simulink. СПб.: Питер, 2008. 288 с.
5. Регламент радиосвязи. Т. 1. М.: Международный союз электросвязи, 2004.

6. Кантор Л.Я. Спутниковая связь и вещание: Справочник. 3-е изд. М.: РиС, 1997. 528 с.
7. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2003. 608 с.
8. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1986. 512 с.
9. Каратаева Н.А. Радиотехнические цепи и сигналы: Ч. 1: Учеб. пособие. Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2001. 260 с.

УДК 001.891: 004.94

СРАВНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОСЛАБЛЕНИЯ ПЯТИ- И СЕМИОТРЕЗОЧНЫХ МОДАЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ РАВНОЙ ДЛИНЫ

П.Е. Орлов

Произведено компьютерное моделирование распространения гауссового импульса в модальном фильтре, выполненном в виде меандровой линии. Показано, что увеличение числа отрезков меандровой линии приводит к увеличению коэффициента ослабления.

Ключевые слова: модальные явления, защитное устройство.

При распространении импульса в отрезке линии, с неоднородным диэлектрическим заполнением, из N проводников (не считая опорного) он может подвергаться модальным искажениям, вплоть до разложения на N импульсов меньшей амплитуды из-за различия погонных задержек мод в линии [1]. На основе модальных явлений могут быть реализованы приборы защиты от импульсов [2]. Коэффициент ослабления без учета потерь равен 2^m , где m – число отрезков линий модального фильтра. Для получения такого коэффициента длина следующего отрезка должна быть в 2 раза больше, чем предыдущего. Влияние количества отрезков линий при соблюдении параметров поперечного сечения линии и общей длины линии неизменными не исследовано.

Цель данной работы – показать влияние количества отрезков модального фильтра на коэффициент ослабления.

В данной работе приведены результаты моделирования распространения гауссова импульса (с учетом потерь) в модальном фильтре, реализованном в виде семи- и пятиотрезочной меандровой линии. На местах обрыва пассивной линии монтированы резисторы (100 Ом) между пассивной и опорной линиями. Параметры поперечного сечения (рис. 1) структур: толщина подложки 0,29 мм, высота дорожек 0,105 мм, ширина дорожек 0,3 мм, расстояние между дорожками 0,4 мм.

Полная длина каждой структуры 2500 мм. Пятиотрезочный меандровый модальный фильтр состоял из 32 полувитков длиной 78,125 мм, семиотрезочный – из 127 полувитков длиной 20 мм. Общий вид пяти- и семиотрезочной структур приведен на рис. 2. Амплитуда ЭДС сигнала воздействия равна 1 кВ. В качестве спектра сигнала было выбрано два частотных диапазона: 0–20; 0–27 ГГц, что соответствует длительности импульса в начале фильтра 40; 30 пс по уровню 0,5. Формы сигналов в конце активной линии при заданном воздействии приведены на рис. 3, 4. Коэффициенты ослабления сведены в таблице.

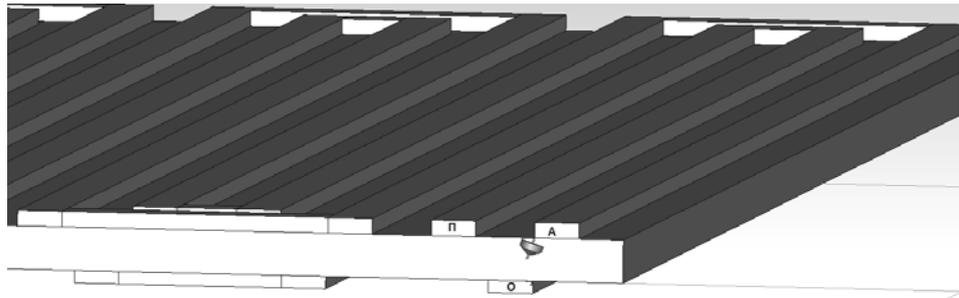


Рис. 1. Поперечный вид исследуемых структур, буквами обозначены активная (А), пассивная (П) и опорная (О) дорожки

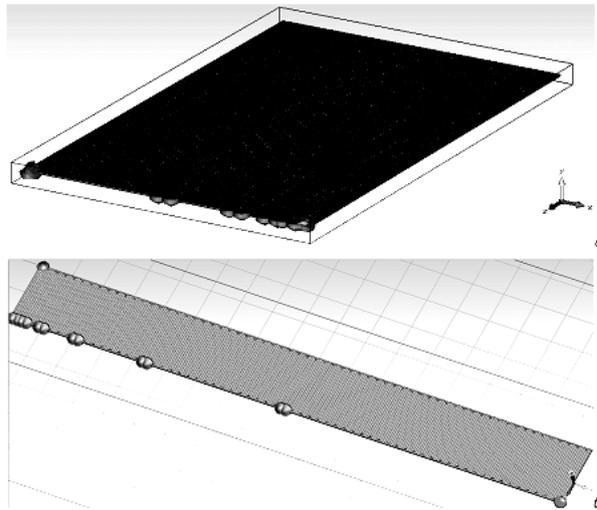


Рис. 2. Общий вид пяти- (а) и семиотрезочного (б) меандрового модального фильтра

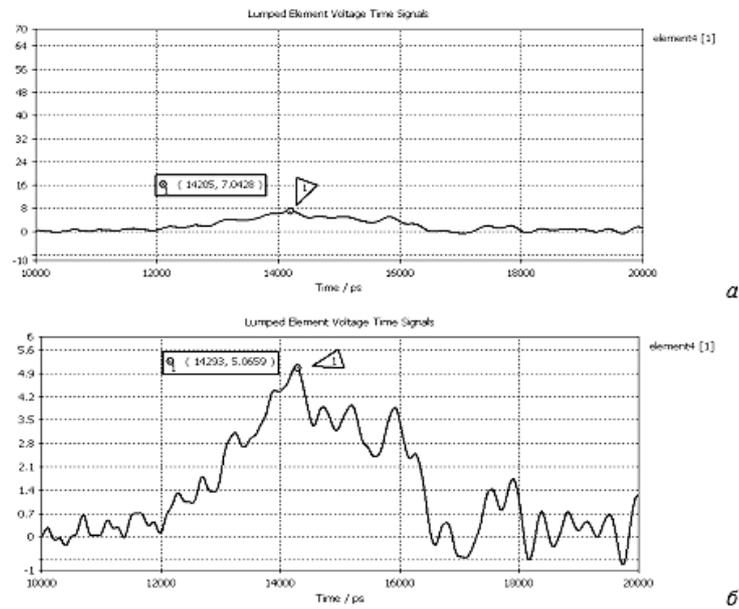


Рис. 3. Сигналы (В, пс) в конце активной линии пятиотрезочного меандрового фильтра при воздействии гауссовым импульсом спектром 0–20 ГГц (а); 0–27 (б)

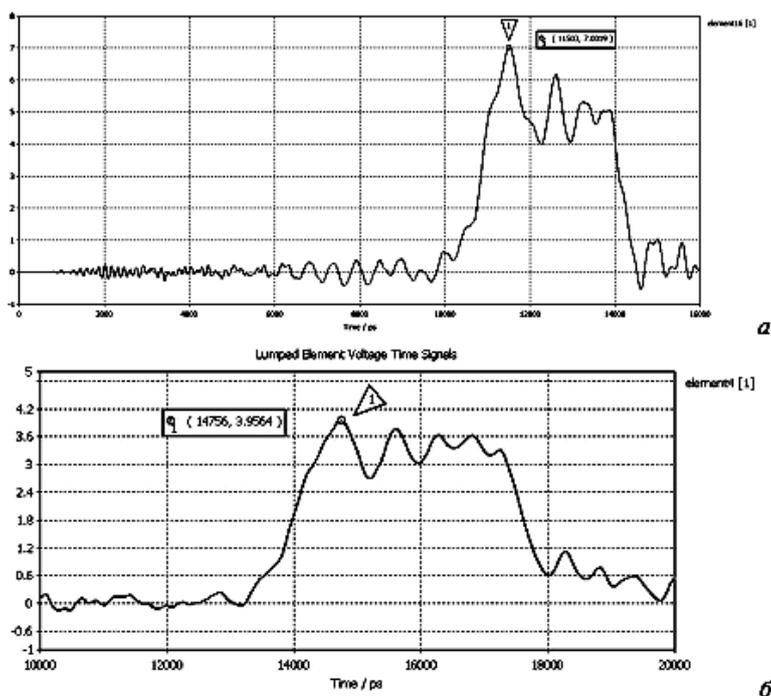


Рис. 4. Сигналы (В, пс) в конце активной линии семиотрезочного меандрового фильтра при воздействии гауссовым импульсом спектром 0–20 ГГц (а); 0–27 ГГц (б)

Коэффициент ослабления без учета потерь для пятиотрезочного фильтра равен 32 (для импульса длительностью меньше 78 пс), для семиотрезочного – 128 (для импульса длительностью меньше 20 пс). Пятиотрезочный фильтр дает заявленный коэффициент ослабления, потому что длительность импульса меньше 78 пс, значение длительности сигнала более 20 пс не позволяет семиотрезочному фильтру давать заявленный коэффициент. При уменьшении длительности импульса наблюдается более сильный рост коэффициента ослабления семиотрезочного фильтра (см. таблицу).

Коэффициенты ослабления для исследуемых вариантов фильтра при изменении спектра воздействующего сигнала

Вариант фильтра	Коэффициент ослабления ($U_{вх}/U_{вых}$) в разях при заданной ширине спектра воздействующего сигнала (ГГц)	
	0–20	0–27
Пятиотрезочный	71,4 (500/7)	98,8 (500/5,06)
Семиотрезочный	71,4 (500/7)	126,3 (500/3,96)

Увеличение числа отрезков может приводить к увеличению коэффициента ослабления (см. таблицу). Для заданной общей длины структуры заявленный коэффициент ослабления возможен для импульсов, длительность которых меньше разности задержек мод самого короткого отрезка. Чем больше длительность импульса не удовлетворяет этому требованию, тем меньше увеличение коэффициента ослабления при увеличении числа отрезков в фильтре. Одинаковая общая длина фильтра и, соответственно, одинаковые потери в проводниках позволяют

предположить, что различие коэффициентов ослабления исследуемых конфигураций объясняется разным количеством отрезков в фильтрах. Однако некоторое влияние на различие коэффициентов ослабления может оказывать различие длин полувитков фильтра и их числа. Для выяснения степени этого влияния необходимо дополнительное исследование. Тем не менее полученные результаты позволяют утверждать, что при заданной общей длине предпочтительно увеличить количество отрезков в модальном фильтре.

Литература

1. Газизов Т.Р. Исследование модальных искажений импульсного сигнала в многопроводных линиях с неоднородным диэлектрическим заполнением / Т.Р. Газизов, А.М. Заболоцкий, О.М. Кузнецова-Таджибаева // Электромагнитные волны и электронные системы (Москва). 2004. Т. 11, №11. С. 18–22.

2. Газизов Т.Р. Модальное разложение импульса в отрезках связанных линий как новый принцип защиты от коротких импульсов / Т.Р. Газизов, А.М. Заболоцкий // Технологии ЭМС (Москва). 2006. №4 (19). С. 40–44.

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ В СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

О.Л. Савина, А.А. Зоркальцев

Для решения задачи модернизации телекоммуникационных сетей в энергосистемах предлагается разработать коммуникационный шлюз, устройство, отвечающее требованиям применения в энергетических системах и обеспечивающий быстрый переход от сетей старого поколения к новым технологиям.

Ключевые слова: ГОСТ Р МЭК 60870-5-101, ГОСТ Р МЭК 60870-5-104, энергетика, автоматизация, системы телемеханики, коммуникационное оборудование, шлюз.

Энергетика является одной из базовых отраслей российской экономики. В настоящее время эта отрасль переживает этап бурного роста. Техническое совершенствование, модернизация систем энергетики объявлены Президентом Российской Федерации Д.А. Медведевым стратегической, наиболее приоритетной задачей развития экономики.

Любая современная энергосистема использует в своём составе средства телемеханики. Такие средства имеют огромное значение для обеспечения надёжного, оперативного и достоверного обмена информацией.

При разработке оборудования для систем энергетики необходимо учитывать следующие особенности:

1) Необходимость интеграции разнотипного оборудования. Изначально для систем телемеханики в энергетике не было единого стандарта связи, поэтому в настоящее время используется множество различных, не всегда совместимых между собой интерфейсов и протоколов передачи данных. К тому же, техническое состояние сильно варьируется от станции к станции.

2) Необходимость масштабируемости и универсальности сложных энергосистем. Для реализации этого требования системы телеметрии и сбора данных строятся по модульному принципу по иерархической, многоуровневой схеме.

Каждая отдельная подсистема должна быть способной функционировать независимо от других.

3) Каждый элемент системы телемеханики должен обеспечивать высокую точность, надёжность и оперативность передаваемых данных.

Можно выделить следующие стандарты связи, которые сегодня используются в энергетических системах чаще других:

- Modbus RTU,
- Modbus TCP,
- Profibus -DP
- IEC 60870-5(101/104),
- IEC 60870-6, (TASE.2),
- DNP3,
- UCA 2.0 (IEC61850),
- ТК Гранит,
- РПТ-80 («АИСТ»).

Рабочая группа технического комитета 57 МЭК разработала стандарт IEC 60870-5 (ГОСТ Р МЭК 60870-5).

МЭК 60870-5 состоит из группы стандартов на протоколы и серии сопутствующих стандартов. Этот стандарт оптимизирован для эффективной и надёжной передачи данных и команд технологических процессов между географически разнесёнными системами по выделенным и коммутируемым каналам с низкой скоростью передачи (до 64 Кбит/с). Он согласован с сетевой моделью OSI благодаря его архитектуре ЕРА (Enhanced Performance Architecture – архитектура с улучшенными характеристиками), включающей три из семи уровней модели OSI [1].

Стандарты серии МЭК 60870-5 нашли широкое применение в системах энергетики и стали национальным стандартом Российской Федерации. Особое значение для систем телемеханики имеют МЭК 60870-5-101 и МЭК 60870-5-104.

МЭК 60870-5-101 определяет основные функции для систем телемеханики.

МЭК 60870-5-104 определяет доступ к сети для ГОСТ Р МЭК 60870-5-101 с использованием стандартных транспортных профилей.

Учитывая тенденции развития телемеханики в энергетике, в ближайшее время в энергетических системах будет осуществляться переход с существующих технологий связи на МЭК 60870-5-101/104. Наиболее современные энергостанции уже оснащены оборудованием, поддерживающим данные протоколы.

Для уменьшения финансовых, временных и иных затрат при таком переходе нужно использовать устройства типа шлюз, который сможет объединить старые и новые технологии передачи данных.

Предлагается разработать коммуникационный шлюз, который может преобразовывать различные наиболее используемые, но устаревшие технологии связи в МЭК 60870-5-101/104 и наоборот. Такой шлюз может стать базовым элементом для модернизации энергосистем и обеспечить комплексную стыковку разнородного оборудования или служить для резервирования каналов передачи данных. Коммуникационный шлюз может быть выполнен в виде отдельного устройства, либо в составе контроллера телемеханики.

Коммуникационный шлюз должен обладать следующими характеристиками:

- поддерживать различные протоколы передачи данных;
- обеспечивать надёжный оперативный обмен большого количества данных;

- поддерживать различные варианты исполнения (с двумя портами Ethernet; либо с двумя портами RS232/485, либо вариант с одним портом Ethernet и одним портом RS232/485);

- отвечать жёстким требованиям к оборудованию, используемому в промышленности.

Рассматривая рынок существующих решений для данной области применения, можно найти достаточное количество производителей различного рода оборудования со схожими функциями.

Например, компания Aynubus является крупным производителем широкого круга коммуникационного оборудования, в том числе коммуникационных шлюзов, используемых в промышленности. Их шлюзы обладают высокими техническими характеристиками и поддерживают множество интерфейсов и протоколов передачи данных. Однако же для решения современных задач телемеханики в энергосистемах нашей страны необходимо учитывать особую специфику их построения. Дело в том, что в энергетических системах на территории России и стран бывшего СНГ помимо международных стандартов связи очень часто используются российские протоколы и технологии передачи данных. Эта особенность построения российских энергосистем практически вычёркивает импортных производителей из списка поставщиков для данных систем.

Поэтому для модернизации российской энергосистемы требуется универсальное промышленное решение, способное справиться с поставленными задачами интегрирования и централизации энергокомплекса.

Литература

1. Исследовательская группа SIGRE, «Современное состояние стандартов и программ связи», Обзор стандартов связи для систем электроэнергетики, URL: <http://www.expertenergo.ru/page.php?hash=8cd12c4264d6b8f318ef06a78bc29c3d&id=15&itemid=343>, 2004 г.

2. ГОСТ Р МЭК 60870-5-1. Разд. 1. «Форматы передаваемых кадров».

3. ГОСТ Р МЭК 60870-5-2. Разд. 2. «Процедуры в каналах передачи».

4. ГОСТ Р МЭК 60870-5-3. Разд. 3. «Общая структура данных пользователя».

5. ГОСТ Р МЭК 60870-5-4. Разд. 4. «Определение и кодирование элементов пользовательской информации».

6. ГОСТ Р МЭК 60870-5-5. Разд. 5. «Основные прикладные функции».

7. ГОСТ Р МЭК 60870-5-101. Разд. 101. «Устройства и системы телемеханики».

8. ГОСТ Р МЭК 60870-5-104. Разд. 104. «Доступ к сети для ГОСТ Р МЭК 870-5-101 с использованием стандартных транспортных профилей».

9. Зоркальцев А., Савина О., Трубников А. Технология Profibus // Itech. 2009. № 13. С. 56–61.

10. Автоматизация энергетики. Перспективы и тенденции // Itech. 2010. № 15. С. 6–10.

АНТЕННЫ И МИКРОВОЛНОВЫЕ УСТРОЙСТВА СВЧ

Председатель – *Гошин Геннадий Георгиевич*, д.т.н., проф. каф. СВЧиКР;
Зам. председателя – *Сычев Александр Николаевич*, д.т.н., проф. каф. КСУП

УДК 621.396.6

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ НА ОСНОВЕ КЕРАМИКИ С НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ОБЖИГА НА РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МОДУЛЕЙ ДЛЯ БОРТОВОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

С.Б. Сунцов

Рассмотрены технологические процессы производства многослойных интегральных схем на основе керамики с низкой температурой обжига. Проведен анализ их влияния на результатах проведения вычислительного моделирования напряженно-деформированных состояний и, как следствие, долговечности бортовой радиоэлектронной аппаратуры.

Ключевые слова: многослойные интегральные схемы, керамика с низкой температурой обжига, технология изготовления, сверхвысокочастотная техника, напряженно-деформированные состояния, радиоэлектронная аппаратура.

Развитие интегральной технологии сделало возможным выполнение отдельных элементов и целых функционально законченных узлов как цифровой, так и высокочастотной частей устройства в виде малогабаритных интегральных схем (ИС).

Новейшие многослойные технологии позволяют объединять все пассивные компоненты сверхвысокочастотного (СВЧ) тракта, включая антенну, в единую ИС. Использование трехмерной конструкции позволяет создавать миниатюрные структуры с высокой степенью интеграции и открывает широкие возможности для улучшения электродинамических, массогабаритных, климатических, экономических и других параметров.

Первые объемные ИС СВЧ-диапазона, идея создания которых логично следовала из опыта разработки полупроводниковых ИС с высокой степенью интеграции, использовали монолитно-интегральную технологию. В последнее время широкое распространение получила гибридная технология многослойных ИС СВЧ-диапазона на основе керамики с низкой температурой обжига (КНТО), аспектам влияния производства которых на долговечность конструкций, а следовательно, и надежность модулей на основе КНТО для перспективной бортовой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), и посвящена данная работа.

В технологии многослойных ИС на основе КНТО можно выделить два самостоятельных процесса [1]: *изготовление керамических листов* и *изготовление многослойных структур на их основе*.

Изготовление керамических листов представляет собой процесс, в котором композитный раствор в виде суспензии, состоящей из частиц керамики, боросиликатного стекла и различных модификаторов, наносится на плоскую поверхность, называемую *основой*.

Технологический процесс изготовления многослойных структур на основе готовых листов КНТО состоит из нескольких этапов (рис. 1).

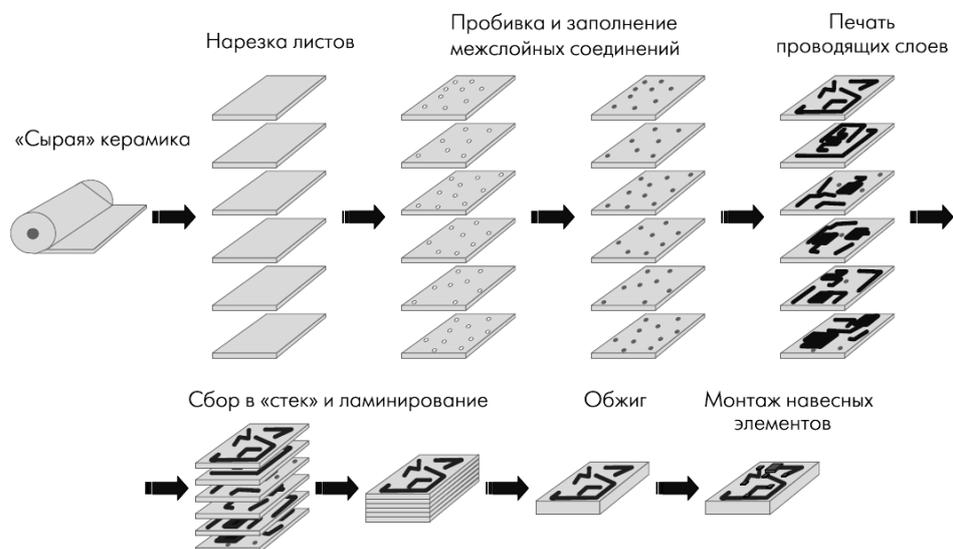


Рис. 1. Технологический процесс изготовления многослойных ИС на КНТО

Вначале листы нарезаются в размер при помощи резака или лазерного луча умеренной мощности, чтобы предотвратить преждевременный обжиг КНТО. Материалы *DuPont Green Tape* перед проведением последующих технологических операций требуют предварительной просушки.

Затем механическим способом или лазером в листах пробивают отверстия для межслойных соединений.

На следующем этапе на керамические листы методом трафаретной печати наносится рисунок топологии проводящих слоев.

После заполнения отверстий для межслойных соединений и нанесения проводящих слоев производится сушка в течение 5–30 мин при температуре 80–120 °С в зависимости от типа материала.

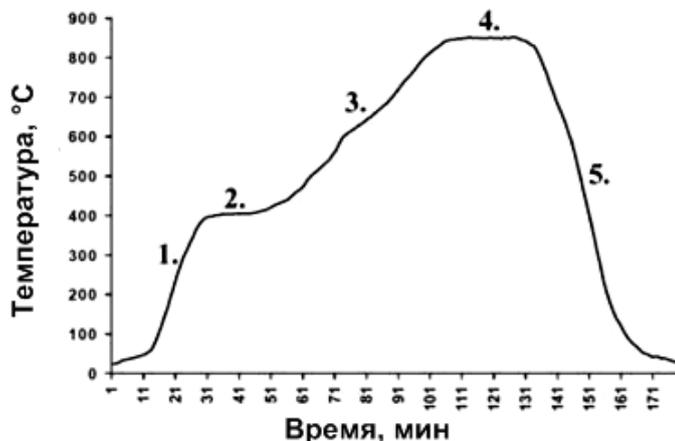
Керамические листы с нанесенным топологическим рисунком собираются в «стек», и затем под давлением сводятся вместе – ламинируются. Существует два способа ламинирования. Первый способ – так называемое одноосное ламинирование – заключается в том, что стопка листов помещается на 10 мин под механический пресс с давлением в 200 бар, разогретый до 70 °С. Данный способ не подходит для многослойных структур, в которых предполагается наличие полостей, открытых окон и т.д. Основной проблемой одноосного ламинирования является «растекание» керамики на краях. Это приводит к изменению толщины отдельных участков каждого листа, что в ряде случаев оказывается критичным, особенно для СВЧ-применений [2].

Второй способ – изостатическое ламинирование. Стопка листов в вакууме упаковывается в фольгу и подвергается давлению в 350 бар в камере с горячей

водой. Температура и время выдержки примерно такие же, как и в случае одноосного ламинирования. При этом способе удастся добиться меньших деформаций керамических листов по сравнению с одноосным ламинированием.

На заключительном этапе ламинированный стек из керамических листов помещается в печь, где листы спекаются между собой в процессе обжига. Характерный температурный профиль обжига КНТО структур представлен на рис. 2.

Рис. 2. Температурный профиль обжига керамики марки **DuPont Green Tape 951**

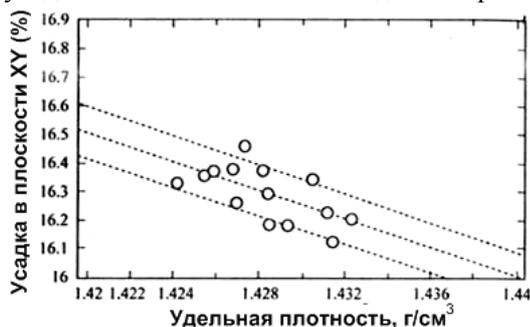


Этапы 1, 3 и 5 на графике температурного профиля (см. рис. 2) соответствуют периодам нагревания и охлаждения керамики, этап 2 (длительностью 20 мин) предназначен для выгорания органических составляющих, а этап 4 (длительностью 30 мин) — это непосредственно процесс спекания слоев керамики, когда происходит формирование единой структуры.

В процессе обжига в керамических листах выгорают связующие компоненты, вследствие чего многослойная структура дает усадку. Для керамики **DuPont Green Tape 951** усадка находится в пределах 12–16% ($\pm 0,2\%$) — в направлении координат x и y , а в пределах 15–25% ($\pm 0,5\%$) — в направлении z координаты (толщина).

В связи с процессом усадки керамики подлежит изменению ее удельная плотность, которая варьируется в пределах согласно диаграмме на рис. 3.

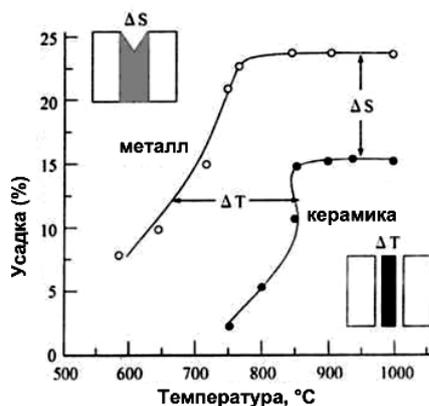
На рис. 4 показан процесс усадки керамического и металлического материалов в зависимости от температуры. Здесь ΔT — разность температур на начальном этапе усадки, и ΔS показывает разницу в конце спекания. Вследствие разности значений температурных коэффициентов линейного расширения материалов усадка металла на 15% наблюдается при температуре примерно в 700 °С, тогда



как керамика достигает указанного значения усадки при температуре в 850 °С.

Рис. 3. Корреляция удельной плотности керамики в зависимости от усадки в плоскости XY

Данные обстоятельства приводят к появлению в технологическом процессе обжига многослойных ИС, отличных от нуля напряжений и деформаций, различ-



ного рода расщеплений, расслоений и вздутий модуля, неучет которых, как предполагается, скажется на результатах проведения вычислительного моделирования напряженно-деформированных состояний (НДС) и, как следствие, долговечности бортовой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА).

Рис. 4. График зависимости усадки керамики и металла от температуры

Литература

1. Yoshihiko Imanaka Multilayered Low Temperature Cofired Ceramics (LTCC) Technology. Berlin: Springer, 2008.
2. Симин А. Многослойные интегральные схемы сверхвысоких частот на основе керамики с низкой температурой обжига / А. Симин, Д. Холодняк, И. Вендик // Компоненты и технологии. 2005. №5.

УДК 537.876.45

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИМПУЛЬСА В ПЛОСКОМ ВОЛНОВОДЕ

П.Н. Уланов

Описано преобразование системы уравнений Максвелла. Получено интегральное уравнение для получения компоненты электрического поля. Приведены примеры результатов работы расчетной программы.

Ключевые слова: волновод, импульс, система уравнений Максвелла, уравнение непрерывности, преобразование Фурье.

В настоящее время для передачи информации в качестве линий передачи широко используются полые и диэлектрические волноводы.

В связи с возрастающими требованиями к пропускной способности линий связи, актуальным является расширение спектра передаваемого сигнала, т.е. широкополосная передача.

Известно, что передача любой информации по линиям связи на данный момент производится путем разделения ее на пакеты, а затем, в случае с оптоволоконном, передача пакетов в одно-многомодовом режиме, но если использовать для передачи по линии связи короткие импульсы, каждый из которых имеет очень широкий спектр и может нести в себе целый пакет данных, можно получить значительно большую пропускную способность канала.

К сожалению, в волноводах групповые скорости различных мод различаются [1], соответственно, форма сигнала при прохождении через волновод существенно искажается и, что самое существенное, увеличивается его пространственная протяженность. Вследствие этого эффекта, последовательно переданные им-

пульсы могут слиться друг с другом, что создаст проблемы при декодировании переданной информации.

Для исследования общих закономерностей распространения широкополосных импульсов в направляющих системах можно рассмотреть задачу импульсного возбуждения полого металлического волновода простой геометрии. Наиболее простым случаем является плоский волновод без заполнения с идеально проводящими стенками.

Рассмотрим такой волновод, возбуждаемый нитью тока, геометрия задачи представлена на рис. 1.

Импульс плотности тока, возбуждающий волновод, имеет вид первой производной функции Гаусса $-\frac{t}{\tau^2} e^{-\frac{t^2}{2\tau^2}}$. Ширина

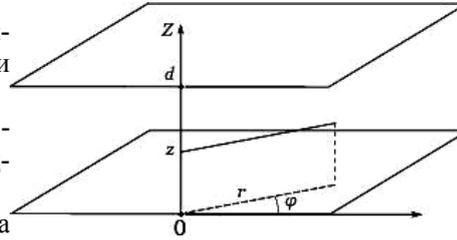


Рис. 1. Геометрия задачи

волновода взята 2 мм.

Как известно, для описания электромагнитного поля используется система уравнений Максвелла [1]. Система уравнений для поставленной задачи и уравнение непрерывности:

$$\text{rot} \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{j}; \quad \text{div} \vec{D} = 0; \quad \text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \quad \text{div} \vec{B} = 0; \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0.$$

Из-за отсутствия заполнения $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$; $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$.

Система классически преобразуется в волновое уравнение вида

$$\Delta \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \mu_0 \frac{\partial \vec{j}}{\partial t}.$$

Поставленную задачу будем рассматривать в цилиндрической системе координат, в таком случае наличие изотропии приводит к отсутствию зависимости от угла φ , т.е. $\frac{\partial}{\partial \varphi} = 0$. В таком случае появятся две поляризации $\{E_r, H_\varphi, E_z\}$ и

$\{H_r, E_\varphi, H_z\}$. Возбуждается выбранной конфигурацией источника только первая поляризация. В каждой из поляризаций из одной компоненты поля можно получить две остальные, поэтому выберем E_z компоненту, наиболее просто связанную с плотностью тока. Полученное уравнение для компоненты поля:

$\Delta E_z - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 E_z}{\partial t^2} = \mu_0 \frac{\partial j}{\partial t}$. Явный вид уравнения:

$$\Delta E_z - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 E_z}{\partial t^2} = \mu_0 j_0 \frac{1}{\tau^2} \left(\frac{t^2}{\tau^2} - 1 \right) e^{-\frac{t^2}{2\tau^2}} \delta(r) \sin\left(\frac{\pi z}{d}\right).$$

Для того чтобы избавиться от временной зависимости, применим преобразование Фурье:

$$\Delta \tilde{E}_z + k^2 \tilde{E}_z = -\sqrt{\pi} \mu_0 j_0 \omega^2 e^{-\frac{t^2}{2\tau^2}} \delta(r) \sin\left(\frac{\pi z}{d}\right).$$

Зависимость от частоты в правой части можно для краткости последующей записи считать константой, так как в процессе рассмотрения полученного уравнения номер монохроматической составляющей не меняется, для дальнейшего

разделения переменных нужно разложить уравнение в ряд по собственным функциям, после преобразования получим: $\frac{\partial^2 E_n}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial E_n}{\partial r} + \xi^2 E_n = -C\delta(r)$. Здесь

$$\xi = \sqrt{k^2 - \frac{\pi^2}{a^2}}; \quad C = \delta_{n1} \sqrt{\pi} \mu_0 j_0 \omega^2 e^{-\frac{t^2}{2\tau^2}}.$$

Полученное уравнение – уравнение Бесселя, его решение: $C_1 H_0^{(1)}(\xi r) + C_2 H_0^{(2)}(\xi r)$. Присутствие в решении функции Ханкеля второго рода не позволяет выполняться условию излучения на бесконечности, поэтому $C_2 = 0$, а C_1 нельзя найти из-за нехватки граничных условий, возьмём $C_1 = 1$. Отсюда с учётом обратного преобразования Фурье и суммы по собственным функциям $E_z = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \sqrt{\pi} \mu_0 j_0 \omega^2 e^{-\frac{\omega^2 \tau^2}{2} + i\omega t} \sin\left(\frac{\pi z}{d}\right) H_0^{(1)}(\xi r) d\omega$.

Это конечная теоретическая формула, так как аналитически этот интеграл посчитать нельзя, следовательно, необходимо использовать численные методы для получения решения. Для начала, необходимо обеззмерить величины:

$$\Omega = \omega\tau; \quad R = \frac{r}{c\tau}; \quad S = \frac{\pi c\tau}{d}; \quad T_n = \frac{t}{\tau}.$$

$$E_z = \frac{\mu_0 j_0}{2\sqrt{\pi}\tau} \sin\left(\frac{\pi z}{d}\right) \int_{-\infty}^{+\infty} \Omega^2 e^{-\frac{\Omega^2}{2} + i\Omega T_n} H_0^{(1)}\left(R\sqrt{\Omega^2 - S^2}\right) d\Omega.$$

В подынтегральной функции есть особая точка, поэтому необходимо изогнуть контур интегрирования для получения численного результата.

Расчетная программа написана на языке Fortran 90, использованный метод интегрирования – метод Гаусса по шестнадцати точкам, исходный контур интегрирования разбивается на мелкие части, каждая из которых интегрируется выбранным методом.

В качестве примера результата расчетов на рис. 2–4 приведены графики мощности электрического поля импульса в волноводе в зависимости от нормированной координаты в различные моменты времени.

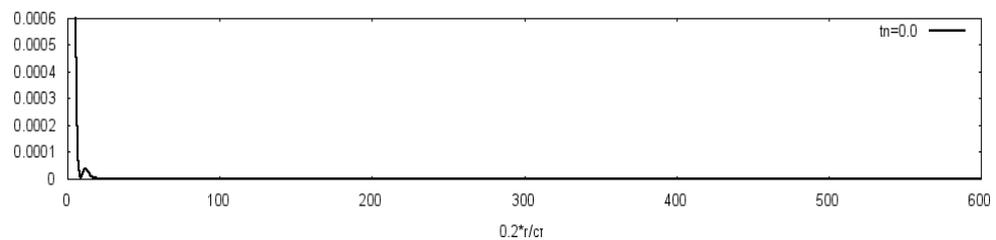


Рис. 2. Распределение мощности импульса при $t_n=0$

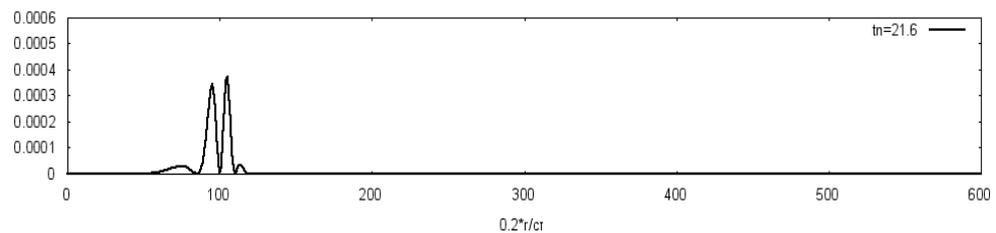


Рис. 3. Распределение мощности импульса при $t_n=21.6$

Длина импульса $\tau - 10^{-12}$ с. Для построения графиков использовался Gnuplot. Здесь tn – обезразмеренное время.

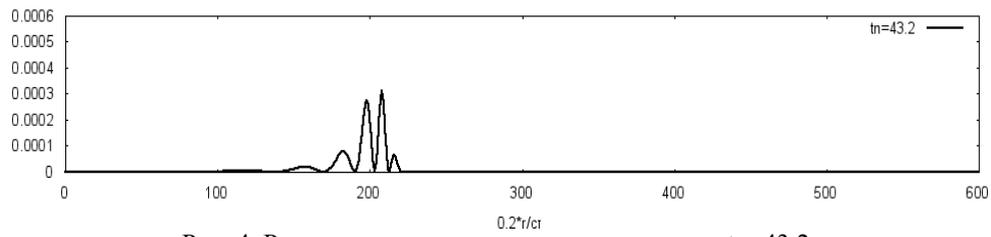


Рис. 4. Распределение мощности импульса при $tn=43.2$

Литература

1. Марков Г.Т., Чаплин А.Ф. Возбуждение электромагнитных волн. М.-Л.: Энергия, 1967. 376 с.

УДК 621.311.62

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИМИТАТОР СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

Ю.А. Кремзуков

Рассматривается использование имитатора солнечной батареи при испытаниях и отработке бортовых систем и космического аппарата при наземных испытаниях в целом.

Ключевые слова: солнечная батарея, имитатор солнечной батареи, система электропитания, космический аппарат.

При проведении испытаний и отработке бортовых систем космических аппаратов (КА) в целом с целью гарантирования их работоспособности при реальных условиях эксплуатации требуется многократное изменение режимов функционирования бортовых источников электроэнергии.

Использование солнечной батареи (СБ) в качестве первичного источника энергии системы электропитания (СЭП) КА в наземных условиях требует применения специальных стендовых устройств (мощных осветителей, систем термостабилизации и др.) для обеспечения заданных условий освещенности и температуры, что экономически нецелесообразно и технически трудно осуществимо.

Поэтому при испытаниях и отработке бортовых систем и КА в целом более предпочтительно и целесообразно использование методов и систем имитационно-физического моделирования и формирования параметров СБ с помощью имитаторов, которые позволяют существенно понизить стоимость и уменьшить время проведения испытаний и отработки КА (не менее чем на 30–50%) [1].

Имитаторы солнечных батарей (ИБС), производимые фирмами «Elgar» и «Agilent Technologies», не позволяют осуществлять полный контроль аппаратуры КА ввиду отсутствия возможности имитировать работу СБ спутника, находящегося на любом типе рабочей орбиты (геостационарная, круговая и др.), т.е. имитации режимов «вход в тень» и «выход из тени», с изменением длительности данных режимов. Кроме того, отсутствуют контроль и диагностика ряда параметров объекта контроля. При этом выходной импеданс ИБС должен соответствовать выходному импедансу СБ, т.е. статическая и динамическая характеристики ИБС и СБ должны максимально соответствовать друг другу [2, 3].

Наиболее перспективной схемой построения ИБС является схема на базе источников напряжения с безынерционным ограничением тока (рис. 1). Структурная схема силовой части ИБС практически полностью совпадает с эквивалентной схемой реальной СБ, чем обеспечивается тождественность испытаний с помощью ИБС СЭП КА реальным условиям работы СЭП от СБ в составе КА [4–6].

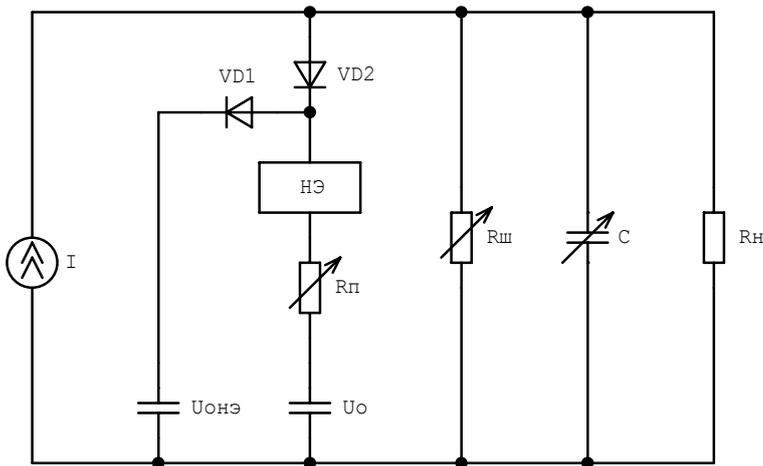


Рис. 1. Структурная схема ИБС

Для исключения человеческого фактора и различного рода ошибок при испытаниях СЭП КА ИБС должен быть автоматизирован, т.е., используя специализированное программное обеспечение, с помощью персонального компьютера иметь возможность задавать программу исследования, по которой ИБС будет работать в течение необходимого времени, с непрерывным ведением протокола результатов испытаний и постоянным контролем аварийных ситуаций.

Программное обеспечение ИБС позволяет работать как под управлением оператора и программы тестирования и отладки поставляемой в комплекте, так и в составе автоматизированного комплекса под управлением программы испытаний, с непрерывным ведением протокола результатов испытания (рис. 2).

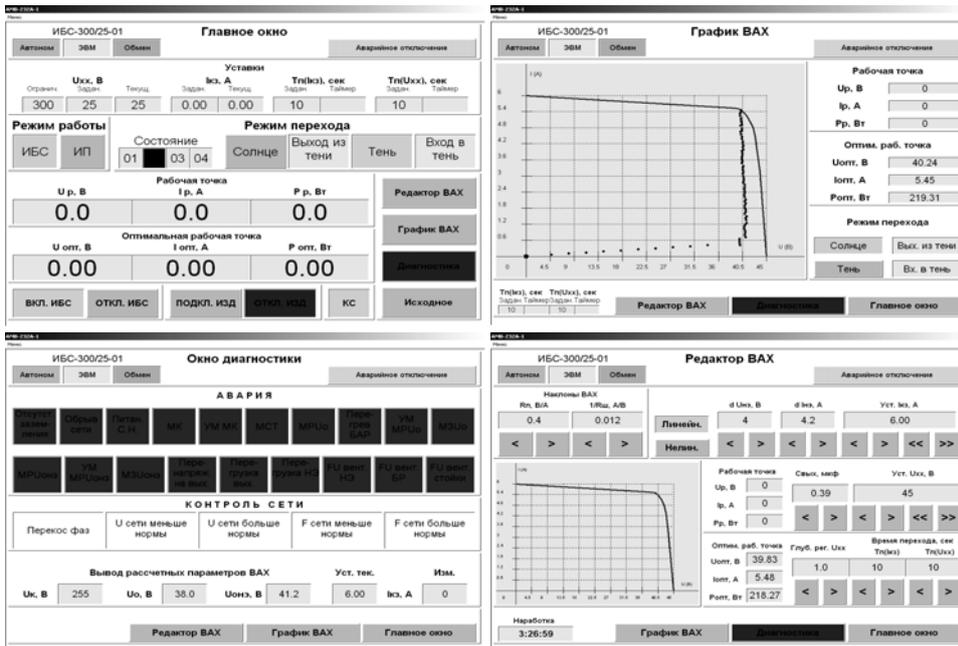


Рис. 2. Программное обеспечение ИБС

Имитатор солнечной батареи, реализованный с использованием источников напряжения с безынерционным ограничением тока, имеет следующие функциональные возможности:

- обеспечивает идеальную частотную характеристику, т.е. совпадение статической и динамической вольт-амперной характеристики ИБС и СБ;
- обеспечивает широкий диапазон имитации вольт-амперной характеристики СБ с запасом, перекрывающим область реального изменения вольт-амперной характеристики СБ вследствие технологического разброса, деградации на орбите, выхода из строя отдельных модулей СБ;
- позволяет проводить полные наземные испытания СЭП КА как в штатных, так и в аварийных ситуациях с непрерывным ведением протокола результатов испытания.

Литература

1. Разработка и создание автоматизированной контрольно-испытательной аппаратуры на основе имитаторов солнечных и аккумуляторных батарей для испытаний бортовых систем электропитания и космических аппаратов в целом на всех стадиях отработки: Отчет о НИР ТУСУР. № 06.0524.01. Томск, 2010. 163 с.
2. www.agilent.com
3. www.elgar.com
4. Патент на полезную модель 50014 РФ. Устройство имитации вольт-амперной характеристики солнечной батареи / В.Н. Мишин, Ю.А. Кремзуков. Бюл. 2005. №34.
5. Патент № 77695 от 27.10.2008 г. Устройство имитации вольтамперной характеристики солнечной батареи / В.Н. Мишин, О.В. Бубнов, В.А. Пчельников и др.
6. Патент № 52522 от 27.03.2006 г. Устройство имитации вольтамперной характеристики солнечной батареи / В.Н. Мишин, Ю.А. Кремзуков.

УДК 004.5

МОДЕЛИРУЮЩИЙ ВИРТУАЛЬНЫЙ СТЕНД СИСТЕМ ТЕЛЕМЕХАНИКИ НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА MOSCAD

М.В. Чуркин, Р.В. Мещеряков, Е.Д. Головин

Предлагается виртуальная реализация микропроцессорного устройства на основе виртуальной эмуляции микропроцессора.

Ключевые слова: виртуальный стенд, микроконтроллер, телемеханика.

Техническое обслуживание систем телемеханики (СЛТМ) требует от инженерно-технического персонала решения нетривиальных задач по анализу технических решений и их конкретных реализаций. Для этого необходимо иметь полный набор оборудования в виде тестовых стендов, применяемого на обслуживаемых объектах. Учитывая дороговизну оборудования, необходимость его технического обслуживания, планирование резерва, задача по организации тестовых стендов телемеханики является очень затратной и трудоемкой. Аппаратная реализация тестовых стендов не дает возможности полномасштабного исследования программного обеспечения (ПО) СЛТМ, в частности, при аппаратной реализации

тестовых стендов невозможно изучать общую реакцию приложения и операционной системы (ОС) на все возможные входящие параметры, невозможно отследить накопленные ошибки операционной системы, а также провести анализ ПО покомпонентно и поэтапно [8]:

- тестирование и отладка программных компонент автономно в статике;
- тестирование и отладка программных компонент в статике во взаимодействии с другими компонентами;
- тестирование и отладка программных компонент в реальном времени;
- тестирование и испытания комплекса программ по данным имитаторов внешней среды;
- тестирование и испытания комплекса программ при реальных воздействиях от операторов – пользователей;
- тестирование и испытания комплекса программ в полностью реальной внешней среде.

Таким образом, ставится задача обеспечить разработчиков и отладчиков надежным инструментарием для отладки и тестирования программной среды систем телемеханики.

Ядром предлагаемого решения является виртуальная реализация микропроцессорного устройства (МПУ) на основе виртуальной эмуляции микропроцессора MOTOROLA семейства MC68000 с виртуальной эмуляцией периферийного окружения, согласно техническим характеристикам MOSCAD-L, с расширением до MOTOROLA ACE3600, виртуальные модули ввода-вывода AI/AO, DI/DO MOSCAD, интерфейсов Ethernet, RS232 (485) [1–3].

Взаимодействие виртуального ядра системы с уровнем ОС и приложения, а также с аппаратным уровнем (также эмулируемым аппаратным обеспечением) осуществляется при помощи разработанных API. Все системные сообщения, отладочная информация и пр. предоставляются в XML формате, для обеспечения возможности дальнейшей обработки с использованием различных систем мониторинга, отчетов и экспертных систем.

Для обеспечения функционирования ОС реального времени время выполнения одного кода операции (OPCODE) микропроцессора, эмулированного на виртуальном стенде должно быть не больше скорости исполнения OPCODE реального процессора, поскольку алгоритм работы системы прерывания (рис. 1) [4], а следовательно, и времени реакций на прерывания (в данном случае прерывания таймера), напрямую зависит от скорости исполнения OPCODE (блок «EXEUTE INSTRUCTION», см. рис. 1).

В ходе выполнения задачи был предложен доработанный, с учетом требований виртуализации алгоритм системы прерываний, оптимизированный по времени исполнения, и получен результат скорости исполнения одного OPCODE менее 20µs, что позволило обеспечить заявленную разработчиками оборудования производительность, более того, полученная скорость исполнения OPCODE также позволяет обеспечить производительность системы, аналогичную новой линейке микроконтроллеров ACE 3600 [5].

В отличие от реальной системы, в виртуальную систему включены механизмы автоматического обнаружения программных ошибок, блок обнаружения ошибок построен на основе отчета «2010 CWE/SANS Most Dangerous Programming Errors» [9], скорректированного в соответствии с выполняемыми микроконтроллером задачами.

Внедрение технологий виртуальных тестовых стендов систем телемеханики позволит уменьшить время внедрения новых и модернизации действующих проектов телемеханики, минимизировать риски, связанные с умышленными или случайными программными [6] и аппаратными ошибками.

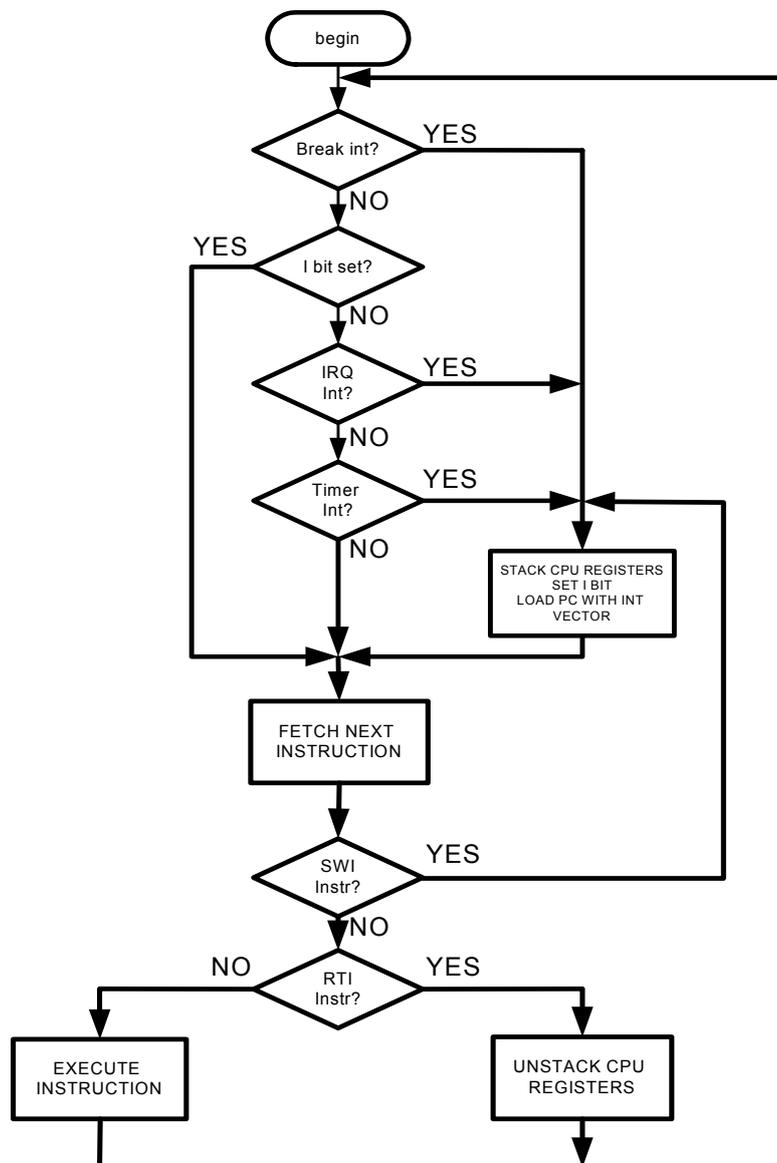


Рис. 1. Система прерываний M68000 [4]

Развитие данной системы может послужить основой для разработки и внедрения технологий оценки надежности программного обеспечения микроконтроллеров, стандартов технологической безопасности программного обеспечения микроконтроллеров [7], от внедрения и применения которых будет зависеть надежность газотранспортной отрасли.

Литература

1. Motorola. Техническая документация. Programming ToolBox для устройств MOSCAD RTU.
2. Motorola. Техническая документация. Программные средства настройки и диагностики системы.
3. Motorola. Техническая документация. MOSCAD-L Product Planner.
4. Motorola. Техническая документация. MC68H Technical Data.
5. Motorola. Техническая документация. Owner's Manual ACE3600 RTU.
6. ГТК РФ, №114 от 4.06.1999 г.
7. DO-178B. Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification.
8. Липаев В.В. Надежность программных средств. Сер. Информатизация России на пороге XXI века. М.: СИНТЕГ, 1998. 232 с.
9. www.cert.org

УДК 621.311.62

ИМПУЛЬСНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПОНИЖАЮЩЕГО ТИПА С ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

А.М. Шамрин, Е.Ю. Буркин, О.А. Кожемяк

Проведено моделирование и макетирование преобразователя постоянного напряжения понижающего типа с параметрической стабилизацией выходного напряжения. Теоретические расчеты полностью подтверждаются на практике как при моделировании, так и в результате проведения натурных экспериментов. Разработанная модель в дальнейшем может быть использована для исследования работы преобразователя в различных режимах, таких как холостой ход, сброс-наброс нагрузки.

Ключевые слова: преобразователь постоянного напряжения, параметрическая стабилизация, моделирование.

Силовые высокочастотные преобразователи постоянного напряжения широко используются в современных источниках питания. Постоянное совершенствование характеристик ключевых и пассивных элементов (*MOSFET* и *IGBT* транзисторов, которые в настоящее время доминируют, силовых конденсаторов, материалов магнитопроводов для дросселей и трансформаторов и др.), используемых в подобного рода источниках питания, а также развитие схемотехники позволяет существенно поднять частоту работы преобразователя, не снижая эффективности. Это приводит к серьезному уменьшению массы и габаритов блоков, работающих на высокой частоте. Поскольку в качестве входного источника постоянного напряжения во многих случаях используется выпрямленное и отфильтрованное сетевое напряжение низкой частоты, то возникает задача минимизации массо-габаритных характеристик выпрямительного блока, что в основном сводится к оптимизации компонентов фильтра. При этом необходимо обеспечить как совместимость с входной сетью (электромагнитная совместимость, высокий коэффициент мощности), так и необходимые энергетические характеристики выходного постоянного напряжения (уровень пульсации, выходное эквивалент-

ное сопротивление), которые оказывают непосредственное влияние на статические и динамические характеристики последующего преобразователя.

При высоком уровне пульсации входного напряжения задача обеспечения устойчивой работы преобразователя постоянного напряжения во всех режимах при приемлемом уровне подавления сетевой пульсации становится нетривиальной. Решению этой проблемы посвящены многие публикации [1–4, 8].

Одним из способов подавления входной переменной составляющей постоянного напряжения является использование параметрических способов регулирования. Как показано в [9], для преобразователя постоянного напряжения понижающего типа наиболее предпочтительным является способ регулирования с постоянной длительностью разомкнутого состояния ключевого элемента. Выбор понижающего преобразователя обуславливается большей эффективностью по сравнению с преобразователями повышающего и инвертирующего типа.

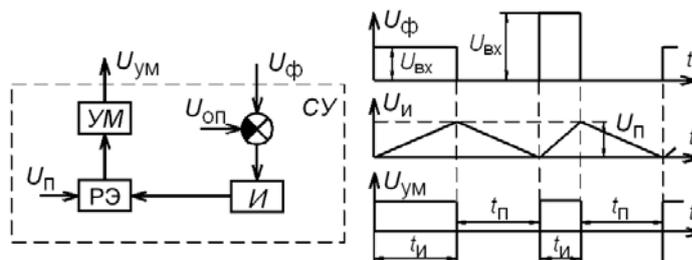


Рис. 1. Структурная схема параметрической системы управления: а – диаграммы работы; б – ПН преобразователя для режима $t_{\text{п}} = \text{const}$

Структурная схема и диаграммы работы системы управления показаны на рис. 1. Напряжение $U_{\text{ф}}$ на входе LC -фильтра с амплитудой $U_{\text{вх}}$ поступает на интегратор (И), а с его выхода – на релейный элемент (РЭ) с заданными порогами срабатывания $U_{\text{пор}}$ ($-U_{\text{пор}}$ и $+U_{\text{пор}}$). С выхода релейного элемента сигнал поступает на усилитель мощности и, далее, на силовой ключ K преобразователя. В момент срабатывания релейного элемента ключ K преобразователя запирается, а напряжение на выходе интегратора сбрасывается до нуля под воздействием постоянного напряжения, обеспечивая постоянство длительности разомкнутого состояния ключевого элемента. Далее ключ вновь замыкается, и процессы циклически повторяются. Очевидно, что при этом среднее значение $U_{\text{н}} = \text{const}$ не зависит от $U_{\text{вх}}$.

Результаты моделирования

Для проверки теоретических исследований было проведено моделирование преобразователя в среде *MatLab 7.0.1 (Simulink 6.0)*.

На рис. 2 приведена модель силовой части ППН, а также схемы управления, реализующей параметрический способ стабилизации выходного напряжения.

На вход системы управления (СУ) подается напряжение с диода $D7$ (рис. 3, а), которое является сигналом обратной связи. Это напряжение понижается делителем *Gain2* до уровня, приемлемого для работы системы управления (1:10). Далее блоком *Sum1* из полученного в результате деления сигнала вычитается опорный сигнал, заданный блоком *Constant* (величина опорного сигнала составляет 0,7 В), в результате чего на выходе блока *Sum1* получаем разнополярный сигнал (рис. 3, б).

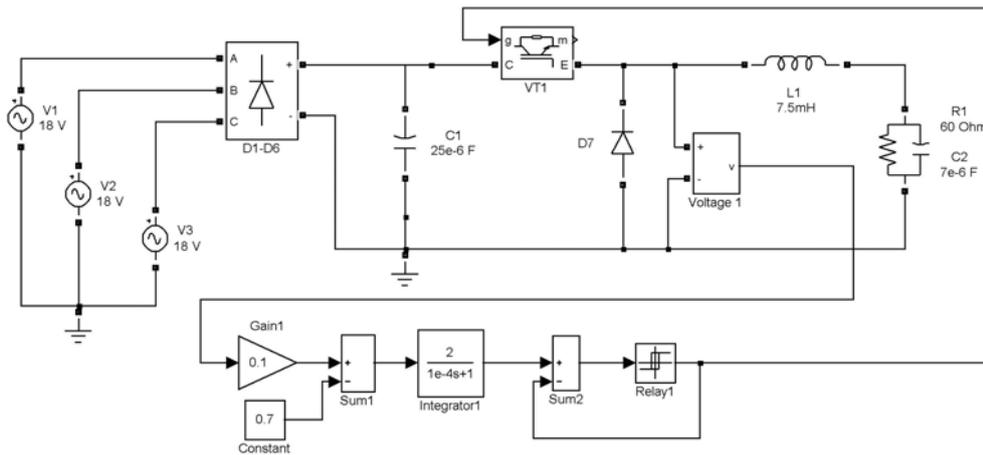


Рис. 2. Модель преобразователя постоянного напряжения в пакете MatLab

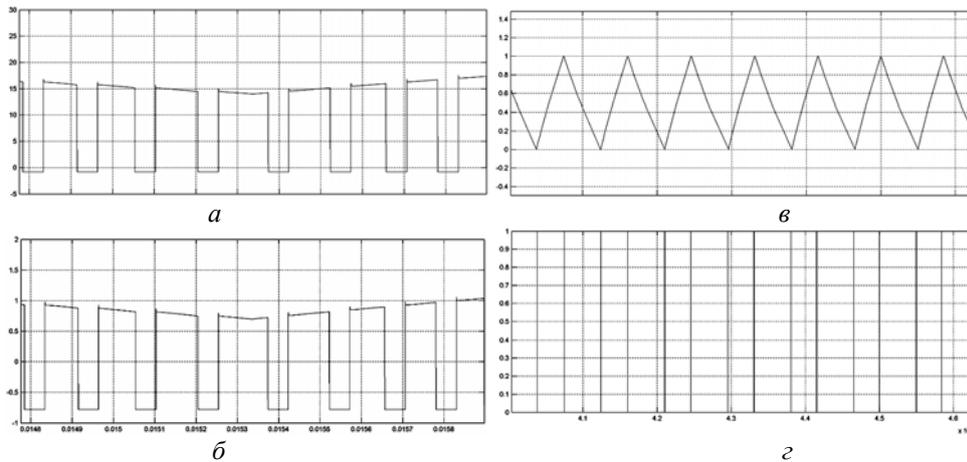


Рис. 3. Диаграммы работы системы управления преобразователя постоянного напряжения: *a* – входной сигнал СУ (напряжение на диоде *D7*); *б* – выход сумматора *Sum1*; *в* – выход интегратора *Integrator1*; *г* – выходной сигнал СУ (выход релейного элемента *Relay1*)

Этот разнополярный сигнал подается на вход блока *Integrator1*. В результате интегрирования получаем на выходе блока *Integrator1* однополярный сигнал пилообразной формы (рис. 3, *в*). Пилообразный сигнал далее поступает на вход компаратора, собранного из двух блоков: сумматора *Sum2* и релейного элемента *Relay1*. При достижении сигналом пилообразной формы нулевого уровня происходит срабатывание компаратора и формирование таким образом выходного сигнала СУ (рис. 3, *г*). На фронт пилообразного сигнала формируется положительный управляющий импульс высокого активного уровня (открывает транзистор *VT1*, t_n), на спад – управляющий импульс низкого активного уровня (закрывает транзистор *VT1*, t_n).

Таким образом, время паузы t_n сигнала управления задается временем спада пилообразного сигнала, который в свою очередь зависит от длительности и величины отрицательной составляющей разнополярного сигнала, получаемого на выходе блока *Sum1*. А поскольку величина отрицательной составляющей

является постоянной, т.к. задается блоком *Constant*, и равной, в данном случае, 0,7 В, то длительность спада пилообразного сигнала, а следовательно, и длительность паузы сигнала управления, являются величинами постоянными.

Для имитирования входной помехи в модели применяется трехфазное напряжение 18 В, 50 Гц, заданное источниками $V1-V3$. После выпрямления диодным мостом $D1-D6$ и частичной фильтрации конденсатором $C1$ это напряжение подается на вход понижающего преобразователя.

На рис. 4 приведены диаграммы работы силовой части ППН, полученные в результате моделирования. Как видно, выходное напряжение ППН является практически постоянным; величина пульсации составляет менее 1%.

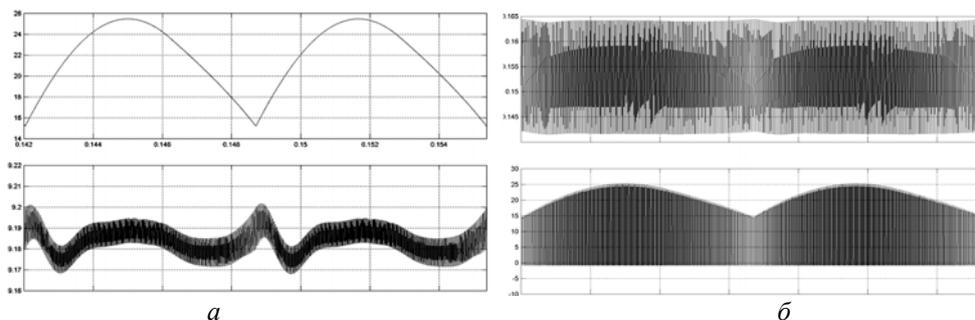


Рис. 4. Диаграммы работы силовой части преобразователя постоянного напряжения: a – пульсации входного напряжения ППН; b – пульсации выходного напряжения ППН

Экспериментальная часть

На рис. 5 приведена принципиальная схема, используемая при макетировании преобразователя. Диаграммы работы СУ и силовой части приведены на рис. 5 и 6 соответственно.

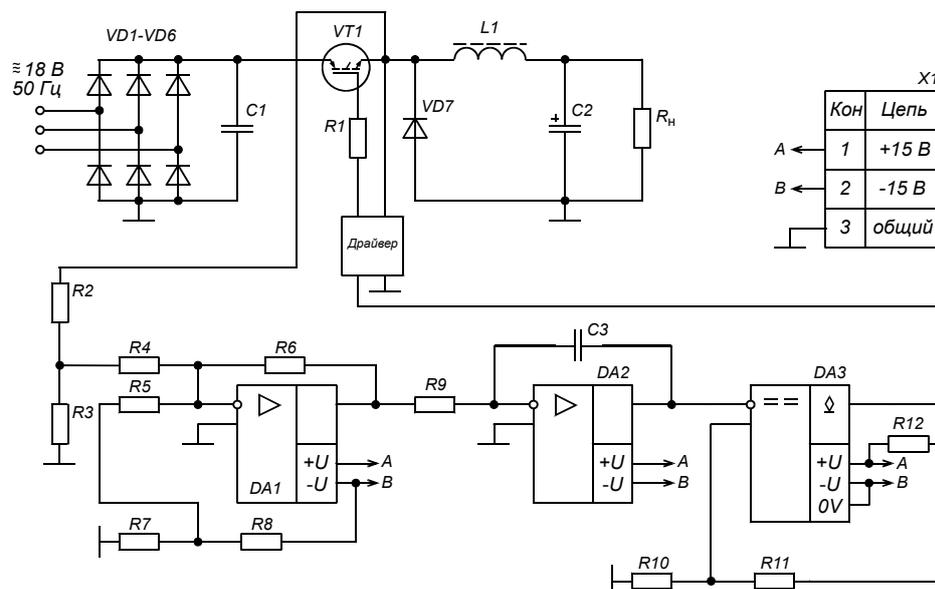


Рис. 5. Принципиальная схема преобразователя постоянного напряжения с параметрической системой управления

Для макетирования системы управления преобразователя были использованы микросхемы КР140УД608 ($DA1$, $DA2$) и $LM311$ ($DA3$). На микросхеме $DA1$ собран сумматор, на выходе которого формируется сигнал, пропорциональный разности напряжения обратной связи и опорного напряжения. На микросхеме $DA1$ собран интегратор, постоянная интегрирования задается элементами $R9$ и $C3$.

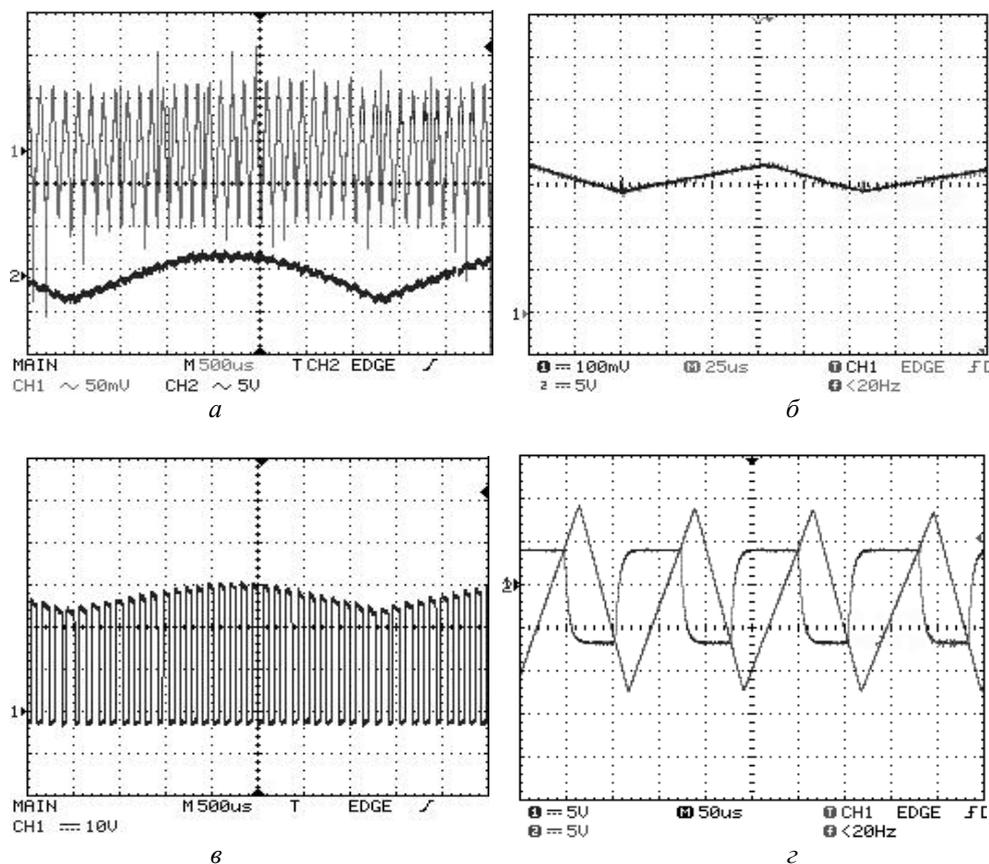


Рис. 6. Диаграммы напряжений и токов преобразователя постоянного напряжения:
a – входное ($CH2$) и выходное ($CH1$) напряжения ППН (переменная составляющая);
б – ток дросселя $L1$ ($CH1$); *в* – напряжение на катоде диода $D7$ ($CH1$);
г выход интегратора $DA2$ ($CH1$) и вход компаратора $DA3$ ($CH2$)

Микросхема $DA3$ является компаратором, производящим сравнение пилообразного сигнала с напряжением заданного уровня. Пилообразный сигнал в данной схеме является двуполярным, а положительная обратная связь компаратора $DA3$ задает размах пилообразного сигнала. Как и при моделировании, длительность/скорость спада пилообразного сигнала (разряд конденсатора $C1$) задается величиной опорного напряжения, которое является постоянным, следовательно, длительность паузы управляющего сигнала остается постоянной.

Из полученных в результате макетирования диаграммы силовой части ППН (см. рис. 6) видно, что аналогично результатам моделирования выходное напряжение ППН является практически постоянным; величина пульсации составляет менее 1%.

Выводы

Проведено моделирование и макетирование преобразователя постоянного напряжения понижающего типа с параметрической стабилизацией выходного напряжения. Теоретические расчеты полностью подтверждаются на практике как при моделировании, так и в результате проведения натуральных экспериментов. Разработанная модель в дальнейшем может быть использована для исследования работы преобразователя в различных режимах, таких как холостой ход, сброс-наброс нагрузки.

Литература

1. Севернс Р., Блум Г. Импульсные преобразователи постоянного напряжения для систем вторичного электропитания / Пер. англ. М.: Энергоатомиздат, 1988. 294 с.
2. Четти П. Проектирование ключевых источников электропитания / Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1990. 240 с.
3. Бирзникс Л.В. Импульсные преобразователи постоянного тока. М.: Энергия, 1974. 256 с.
4. Розанов Ю.К. Полупроводниковые преобразователи со звеном повышенной частоты. М.: Энергоатомиздат, 1987. 184 с.
5. А. с. №469965 СССР. Тиристорный стабилизатор напряжения/ Б.А. Багинский, В.Н. Макаревич, Ю.А. Отрубянников // Бюл. 1975. №17.
6. А. с. №560215 СССР Импульсный стабилизатор постоянного напряжения / Б.А. Багинский, В.Н. Макаревич // Бюл. 1977. №20.
7. А. с. №547756 СССР Импульсный параметрический стабилизатор постоянного напряжения./ Б.А. Багинский., В.Н. Макаревич // Бюл. 1977. №7.
8. Arbetter B. and Maksimovie D. Feedforward Pulse Width Modulators for Switching power Converters // IEEE Trans. Power electron. 1997. Vol. 12, №2 (March). P. 56.
9. Буркин Е.Ю., Макаревич В.Н., Свиридов В.В. Анализ параметрических способов стабилизации напряжения импульсных преобразователей.

УДК 621.314.26; 621.382.2/3

ВЫПРЯМИТЕЛЬ ИМИТАТОРА ТРЕХФАЗНОЙ СЕТИ С АКТИВНЫМ ФОРМИРОВАНИЕМ ПОТРЕБЛЯЕМОГО ТОКА

А.А. Загваздин, Н.С. Легостаев

Рассматриваются модель выпрямителя с активным формированием потребляемого тока как функционального узла имитатора трехфазной сети в среде MatLAB Simulink и результаты моделирования.

Ключевые слова: имитатор трехфазной сети, контрольно-измерительные испытания, параметры электрической энергии, моделирование, преобразователь напряжения, широтно-импульсная модуляция.

Одним из важнейших мероприятий, направленных на достижение высокого качества проектирования электронного оборудования, является комплекс контрольно-измерительных испытаний при отклонениях параметров электрической энергии сетей электроснабжения, нормированных межгосударственным стандартом ГОСТ 13109-97 «Нормы качества электрической энергии в системах общего назначения» и международными стандартами МЭК 868, МЭК 1000-3-2, МЭК 1000-3-3, МЭК 1000-4-1. Необходимым условием реализации указанных испытаний выступает применение имитаторов систем электроснабжения пере-

менного трехфазного (однофазного) тока общего назначения, обеспечивающих нормально допустимые и предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения, колебания напряжения, значения синусоидальности напряжения, несимметрии напряжений, отклонения частоты, провала напряжения и длительности провала, импульса напряжения. Разработка имитаторов сетей электроснабжения продиктована практикой внедрения инновационной наукоемкой продукции и относится к числу актуальных задач интеллектуальной силовой электроники.

Имитатор трехфазной сети, структурная схема которого представлена в [1], реализован с максимально возможной степенью унификации, что упрощает его практическую реализацию и дальнейшую эксплуатацию. Однако три ступени преобразования энергии и сложность алгоритма управления с целью имитации несимметрии напряжений и отклонении частоты ведут к понижению КПД имитатора и усложнению имитатора в целом.

Отмеченные недостатки устранены в имитаторе трехфазной сети, структурная схема которого представлена на рис. 1.

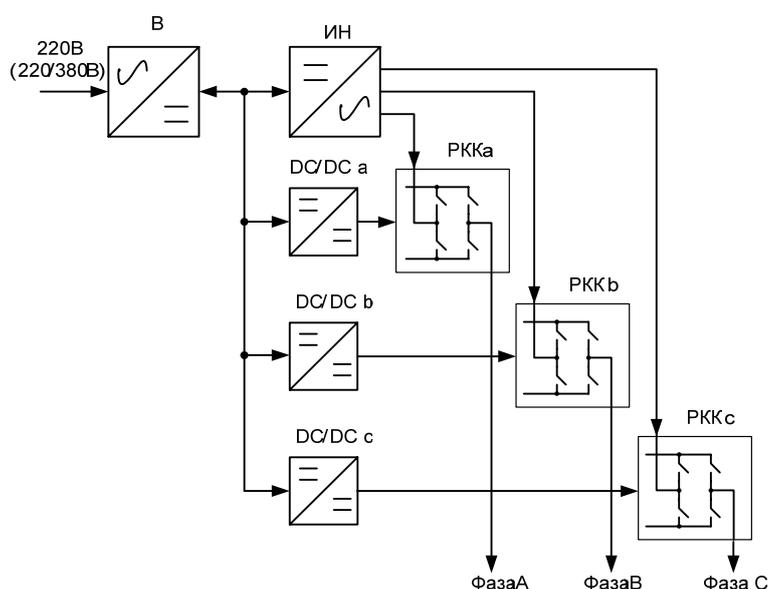


Рис. 1. Структурная схема имитатора трехфазной сети с двойным преобразованием энергии

На структурной схеме (см. рис. 1) приняты следующие обозначения: В – выпрямитель однофазного (трехфазного) напряжения переменного тока; ИН – инвертор напряжения; DC/DC a, DC/DC b, DC/DC c – модули преобразователей постоянного напряжения в фазах a, b и c соответственно; РКК a, РКК b, РКК c – реверсивные ключевые коммутаторы в фазах a, b и c соответственно.

Центральным узлом имитатора трехфазной сети переменного тока является источник фазных помех, действие которого заключается в управляемом суммировании фазных напряжений сети с постоянными напряжениями по законам, обеспечивающим имитацию отклонений параметров электрической энергии в соответствии с международными стандартами на качество электрической энергии в системах электроснабжения.

Для реализации отклонений параметров фазных напряжений, удовлетворяющих нормально допустимым и предельно допустимым нормам качества электрической энергии, в составе каждого канала источника фазных помех предусмотрен модуль DC/DC преобразователя.

Для оптимизации массогабаритных показателей источника фазных помех модули DC/DC преобразователей следует выполнять на базе транзисторных преобразователей постоянного напряжения. Повышение энергетических показателей преобразователей данного класса достигается в первую очередь за счет увеличения рабочей частоты, что позволяет получить и хорошие массогабаритные параметры [2].

Поиск компромиссного решения, позволяющего увеличить эффективность работы преобразователя на высокой частоте, требует анализа различных схемных решений. Не менее важным является выбор элементной базы преобразователей – транзисторов, диодов, конденсаторов, магнитных элементов, микроконтроллеров и других элементов и компонентов. Опыт показывает, что не существует каких-либо строгих правил, которыми можно было бы руководствоваться при выборе. Например, каждый из широко распространенных транзисторных ключей – IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), MOSFET (Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor) и BPT (Bipolar Power Transistor) – имеет свои достоинства и недостатки и соответственно связанные с этим области преимущественного использования. Однако, помимо устоявшихся взглядов на применение, где выбор оптимального типа транзистора практически не вызывает сомнений, есть многочисленные примеры силовых устройств, при проектировании которых подобный выбор сделать весьма сложно, так как преимущества того или иного типа ключевого элемента неочевидны [3]. Для достижения высокого коэффициента мощности и малого коэффициента высших гармоник выпрямитель целесообразно выполнять с активным формированием входного тока.

Модель силовой части выпрямителя с активным формированием потребляемого тока представлена на рис. 2.

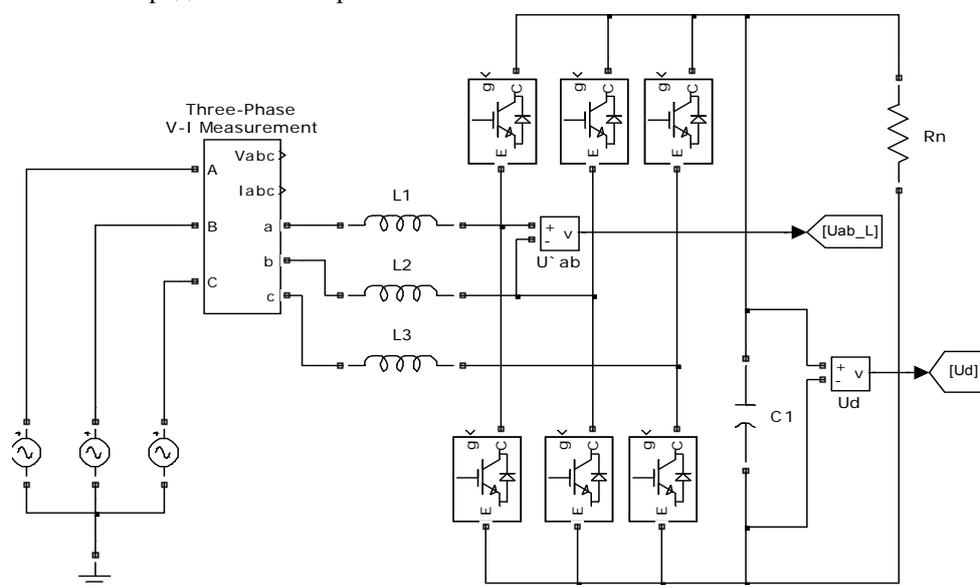


Рис. 2. Модель силовой части активного выпрямителя в среде MatLAB Simulink

Модель замкнутой двухконтурной системы управления активным выпрямителем представлена на рис. 3.

Модель системы управления активным выпрямителем имеет внешний контур формирования потребляемого тока и внутренний контур регулирования выходного напряжения.

Осциллограммы фазного напряжения U_a и потребляемого фазного тока I_a среды MatLAB Simulink представлены на рис. 4.

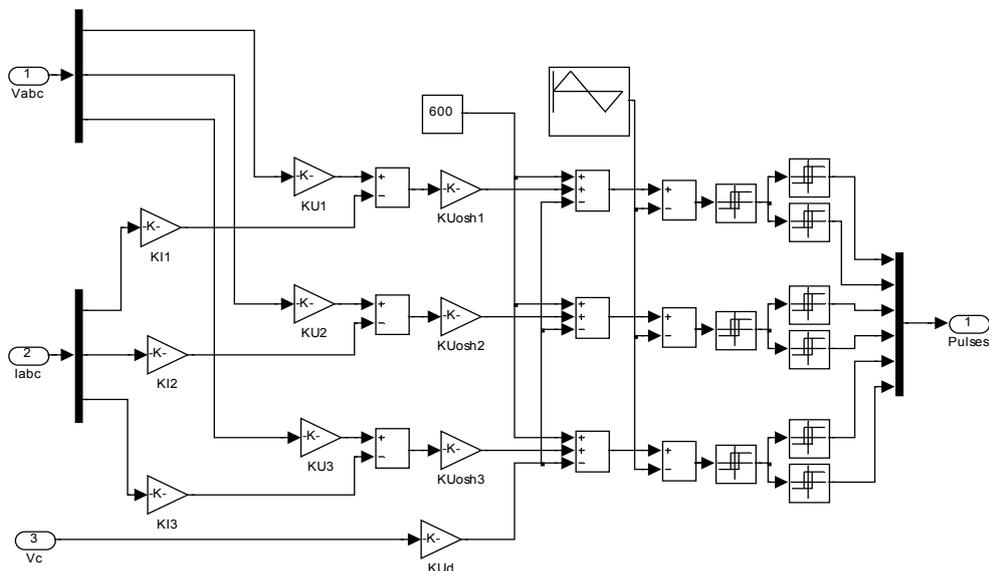


Рис. 3. Модель системы управления активным выпрямителем в среде MatLAB Simulink

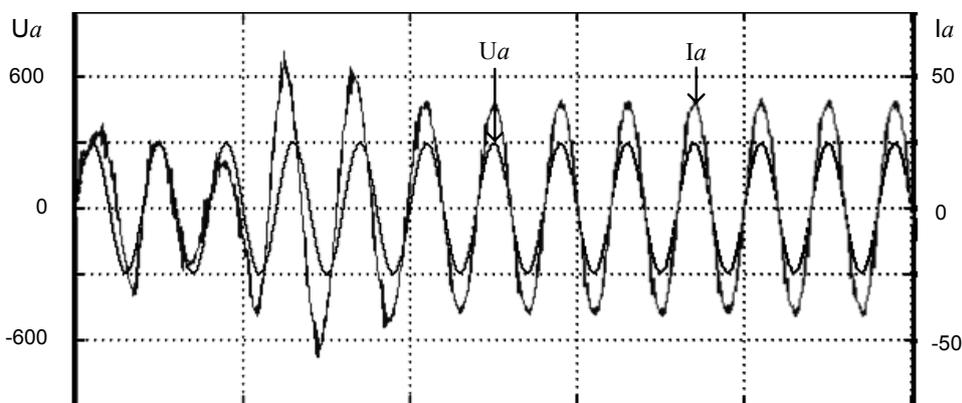


Рис. 4. Осциллограммы фазного напряжения U_a и потребляемого фазного тока I_a среды MatLAB Simulink

Заключение

Предложена структура имитатора трехфазной сети, обеспечивающая решение проблемы повышения энергетической эффективности и экономичности использования электрической энергии.

В среде MatLAB Simulink реализован принцип подчиненно-вертикального управления активным выпрямителем, направленный на формирование потребляемого тока, отвечающего требованиям стандартов на качество электрической энергии. Реализация предложенной модели системы управления в среде MatLAB Simulink обеспечивает коэффициент мощности, стремящийся к единице, и содержание высших гармоник в потребляемом токе при использовании звена коррекции не более восьми процентов.

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности внедрения представленной схемы управления в предложенную структуру имитатора трехфазной сети.

Литература

1. Легостаев Н.С. Инновационный проект по разработке имитатора трехфазной сети переменного тока в рамках технологии группового проектного обучения / Н.С. Легостаев, В.Н. Мишин // Матер. второй научно-метод. конф. «Групповое проектное обучение. Т. 2. Томск: ТУСУР, 2007: С. 24–26.
2. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника / В.И. Мелешин. М.: Техносфера, 2006. 632 с.
3. Шерстюк В.И. Транзисторные ключи для устройств силовой электроники // Электронные компоненты. 2001. №3. С. 47–51.

УДК 621.314.2:621.382.2

ДИНАМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ МОДУЛЬНОГО ТИПА

Г.Я. Михальченко, С.Г. Михальченко, А.А. Гаврилов

Приведена сравнительная оценка анализа динамики нелинейных импульсных систем с традиционными методами исследований, описываемых линейными дифференциальными уравнениями. Рассматривается математическая модель замкнутой системы регулирования напряжения, выполненного из параллельно включенных ключевых преобразователей, фазы коммутации ключей которых смещены относительно друг друга.

Ключевые слова: модульный принцип построения силовых преобразователей, многофазная импульсная модуляция, решение кусочно-непрерывных дифференциальных уравнений динамики, бифуркационный анализ установившихся режимов функционирования системы.

Линейные системы автоматического регулирования (САР), в основе которых лежит теория устойчивости Ляпунова, с точки зрения динамики, характеризуются:
– понятием «система устойчива или неустойчива»;
– переходными процессами и их качественными (периодический или колебательный процесс) и количественными характеристиками (быстродействие, перерегулирование, затухание и др.).

Отметим, что в основе анализа устойчивости по Ляпунову и его первого метода в частности положен расчет корней характеристических уравнений возмущенного движения и установлено, что если корни основной матрицы системы находятся внутри единичного круга, то последняя устойчива и наоборот.

С целью снижения трудоемкости проектирования замкнутых САР на основе методов А.М. Ляпунова разработаны и успешно используются косвенные оценки

динамики систем, в том числе по определению устойчивости – алгебраические и частотные критерии, которые позволяют ускоренно оценивать корни характеристических уравнений, строить амплитудно- и фазочастотные характеристики (АФЧХ) и по этим косвенным критериям рассчитывать границы областей устойчивости системы в рассматриваемой области параметров.

Применительно к этим критериям эмпирическим путем установлены необходимые запасы устойчивости по амплитуде и фазе частотных характеристик, определены типы желаемых АФЧХ, при которых достигается тот или другой вид оптимизации переходных характеристик (технический, симметричный оптимум и др.). Примечательно, что эта информация о динамике линейных систем является необходимой и достаточной, т.е. полной.

Совершенно иная эволюция развития динамики характерна для импульсных САР, особенно быстродействующих источников питания, которые описываются нелинейными системами дифференциальных уравнений с разрывными компонентами. Наблюдаемые при этом динамические режимы в корне отличаются от процессов, описываемых теорией линейных систем. В практической деятельности специалистам, как правило, приходится работать с нелинейными импульсными системами электропитания, а здесь они неизбежно сталкиваются с динамическими процессами, которые невозможно адекватно трактовать в рамках «линейного мышления». Более того, известные пакеты автоматизированного проектирования (OrCAD, LTspice, DesignLab, PSpice и др.) также используют частотные критерии определения устойчивости, которые могут давать правильную оценку динамическим свойствам только робастным системам в «малом».

Изложенные соображения давно привлекают исследователей в области физики нелинейных колебаний. Математический аппарат, применительно к импульсным системам электропитания, разрабатывается нами (с 1986 г.) [1, 2, 6, 7] и другими отечественными и зарубежными ведущими школами [3–5]. Ближе всех к пониманию нелинейной динамики подошли такие исследователи Power Electronics Society (PELS) общества IEEE, как Chi K. Tse и Siu-Chung Wong (Гонконг), Yang-Shung Lee и Shian-Shing Shyu (Тайвань), Milan M. Jovanović (Сербия), Hosein Farzanehfard (Иран), Frede Blaabjerg (Дания), основывающие свои исследования на теории профессора К. Mazumder (США) [8–12].

Накопленный авторами опыт анализа динамических режимов источников электропитания с различными видами модуляции [3] может быть представлен следующим алгоритмом анализа динамических режимов нелинейных импульсных систем.

1. Необходимо отказаться от понятия «устойчива или неустойчива *система*», а руководствоваться понятием «устойчив или неустойчив *периодический режим*», поскольку в нелинейных системах могут одновременно существовать и являться устойчивыми несколько режимов – проектный и аномальные режимы: периодические (субгармонические), квазипериодические, хаотические. Размах колебаний последних всегда ограничен глобальными нелинейностями типа «насыщение». Это условие «ограничение размаха колебаний» выполняется, пока прочность электрорадиоэлементов не позволяет высвободиться накопленной в реактивных элементах энергии. В противном случае аномальная динамика неизбежно сопровождается выходом аппаратуры из строя, а при больших запасах энергии – техногенными катастрофами.

2. В работах Л.С. Понтрягина установлено, что основные процессы эволюции динамических режимов кусочно-непрерывных дифференциальных уравнений (ДУ) второго порядка определяют основной характер динамики сложной

системы, а нелинейности и постоянные времени уравнений более высоких порядков приводят лишь к трансформации основных «черт» динамики, не оказывая значимого влияния на топологию общей картины. Это уникальное свойство позволяет при формировании основных допущений, в процессе построения схем замещения нелинейных импульсных систем электропитания, учитывать глобальные нелинейности и глобальные (доминирующие) постоянные времени не выше второго порядка.

3. Тонкие нелинейности источника питания с импульсной модуляцией определяют индивидуальные свойства различных видов модуляции и, следовательно, определяют структуру распределения областей существования различных динамических режимов.

Направленность численно-аналитических и имитационных экспериментов по анализу нелинейной динамики импульсно-модуляционного источника питания должна, по мнению авторов, определяться следующим поэтапным наращиванием абстракции:

а) переходом от расчетов мгновенных значений установившегося режима к расчету и анализу точечного отображения (Пуанкаре), которое позволяет понять неединственность существования различных устойчивых периодических режимов (колебаний), сделать оценку эволюции развития устойчивых и неустойчивых колебаний в области параметров. Кроме того, анализ бифуркационных диаграмм (БД) позволяет оценить размах этих колебаний, выявить тип и характер бифуркационной смены режимов, т.е. провести бифуркационный анализ;

б) переходом от расчетов БД к топологическому анализу областей существования периодических режимов, их пересекающихся множеств и установке связи смены режимов с величиной возмущающих воздействий;

в) созданием методики построения аналитических зависимостей определения критических в бифуркационном смысле значений параметров с целью предоставления разработчику простых и понятных косвенных оценок динамических свойств нелинейной системы, но уже с точки зрения эволюции режимов нелинейных импульсных систем.

Целью настоящей статьи является фрагментарное изложение основных постулатов «нелинейного мышления» в области динамики замкнутых систем электропитания ключевого типа на примере сравнительного анализа динамики однофазного понижающего преобразователя с многофазной структурой [6, 7].

Особенности многофазных источников питания модульного типа

Имеющаяся в распоряжении разработчиков элементная база позволяет создавать преобразователи с промежуточным звеном высокой частоты весьма ограниченной мощности – не более одного-двух десятков киловатт, в то время как многие технологические процессы должны обеспечиваться мощностями, в десятки и сотни раз большими.

Сложившуюся ситуацию удастся разрешить модульным принципом построения преобразователей оговоренного диапазона мощностей, в основу которых положен принцип многозонной многофазной модуляции энергетического потока [1–2]. На рис. 1 приведен один из примеров реализации преобразователя с многофазной модуляцией мощностью 96 кВА, выполненного на основе 16 параллельно включенных модулей.

Этот вид модуляции позволяет обеспечить в одном устройстве следующие показатели:

– высокое качество преобразования энергии;

- потенциально высокую управляемость и быстродействие регулирования;
- высокую, недостижимую надежность работы системы энергообеспечения;
- высокий коэффициент полезного действия;
- способность работать во всем диапазоне изменения нагрузки – от холостого хода до короткого замыкания цепи нагрузки.



В то же время перечисленные потенциально высокие показатели источников питания модульного типа не могут быть реализованы без исследования динамических процессов функционирования замкнутых систем автоматического управления и синтеза на этой основе микропроцессорных средств управления.

Базовым элементом структур такого типа является преобразовательная ячейка с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), анализу динамики которой посвящено довольно большое число публикаций [3–5].

Рис. 1. Многоячейковый источник питания установки выращивания монокристаллического кремния

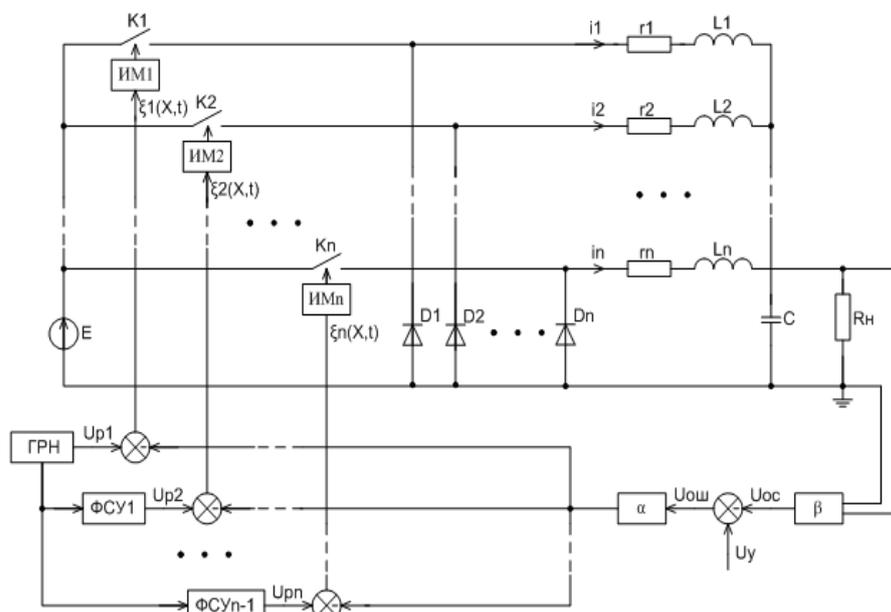


Рис. 2. Схема замещения многофазного понижающего преобразователя напряжения и его системы управления

Известные исследования параллельной работы независимых ячеек [11] посвящены изучению возможностей распределения нагрузки между модулями и не позволяют получить общую картину динамики, поскольку рассматриваемые в этой работе структуры характеризуется своими глобальными и тонкими нелинейностями импульсных модуляторов.

Схема замещения многофазного преобразователя, построенная с учетом оговоренного уровня абстракций, представлена на рис. 2.

В схеме замещения приняты следующие обозначения: E – источник входного напряжения; $r_1 \dots r_n$ – приведенные внутренние сопротивления преобразователей $K_1 \dots K_n$ инверторного типа с промежуточным звеном высокой частоты и выпрямителем на выходе и индуктивностей дросселей фильтра $L_1 \dots L_n$ соответственно; $i_1 \dots i_n$ – протекающий в $L_1 \dots L_n$ ток; C – емкость конденсатора выходного фильтра; R_H – сопротивление нагрузки; $ИМ_1 \dots ИМ_n$ – широтно-импульсные модуляторы соответствующих фаз; β – масштабный коэффициент цепи обратной связи; α – коэффициент усиления корректирующего устройства; U_{OC} – сигнал обратной связи; U_Y – напряжение управления; $\Phi C Y_1 \dots \Phi C Y_{n-1}$ – фазосдвигающие устройства для получения в совокупности с генератором развертывающего напряжения $ГРН$, сдвинутых по фазе относительно друг друга на равную величину развертывающих напряжений $U_{P2} \dots U_{Pn}$; U_C – напряжение на конденсаторе, равное выходному напряжению преобразователя.

При построении схемы замещения приняты следующие допущения:

- входной источник питания E является идеальным источником напряжения;
- широтно-импульсный модулятор выполнен на идеальных ключах без потерь с нулевым временем переключения;
- пассивные элементы преобразователя линейны;
- корректирующее устройство представлено пропорциональным регулятором;
- математическая модель рассматривается на примере двух фаз.

Математическая модель многофазного преобразователя

Показанная на рис. 2 схема замещения двухфазного понижающего преобразователя напряжения описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\frac{d\mathbf{X}}{dt} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{X} + \mathbf{B}(KF_1, KF_2),$$

где вектор неизвестных и матрица системы записываются следующим образом:

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \\ U_C \end{pmatrix}, \quad \mathbf{A} = \begin{pmatrix} -\frac{r_1}{L_1} & 0 & -\frac{1}{L_1} \\ 0 & -\frac{r_2}{L_2} & \frac{1}{L_2} \\ \frac{1}{C} & \frac{1}{C} & -\frac{1}{C \cdot R_H} \end{pmatrix}.$$

Нелинейность системы имеет вид разрыва первого рода и описывается разрывными функциями на выходе преобразователей K_1, K_2 , коммутационные функции KF_1 и KF_2 на выходе этих преобразователей определяют следующие возможные значения вектора вынуждающих воздействий \mathbf{B} :

$$\mathbf{B0} = \mathbf{B}_{\left. \begin{matrix} KF_1=0 \\ KF_2=0 \end{matrix} \right\}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B1} = \mathbf{B}_{\left. \begin{matrix} KF_1=0 \\ KF_2=1 \end{matrix} \right\}} = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{E}{L_2} \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B2} = \mathbf{B}_{\left. \begin{matrix} KF_1=1 \\ KF_2=0 \end{matrix} \right\}} = \begin{pmatrix} \frac{E}{L_1} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B3} = \mathbf{B}_{\left. \begin{matrix} KF_1=1 \\ KF_2=1 \end{matrix} \right\}} = \begin{pmatrix} \frac{E}{L_1} \\ \frac{E}{L_2} \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Коммутационные функции, формируемые широтно-импульсными модуляторами $ИМ_1$ и $ИМ_2$, выражаются следующим образом:

$$KF_1(\xi_1) = \frac{1}{2} \cdot (1 + \text{sign}(\xi_1)), \quad KF_2(\xi_2) = \frac{1}{2} \cdot (1 + \text{sign}(\xi_2))$$

через разностные функции обратной связи

$$\xi_1(t, U_C) = \alpha \cdot (U_Y - \beta \cdot U_C) - U_{P1}, \quad \xi_2(t, U_C) = \alpha \cdot (U_Y - \beta \cdot U_C) - U_{P2}.$$

Авторами уже приводилось описание способа поиска мгновенных значений вектора неизвестных X , т.е. построения временных диаграмм протекания токов и напряжений, на основе которых затем ведется построение одно- и двухпараметрических бифуркационных диаграмм [5]. В данной работе поиск периодических режимов ведется другим способом, а именно через систему уравнений обратной связи [6].

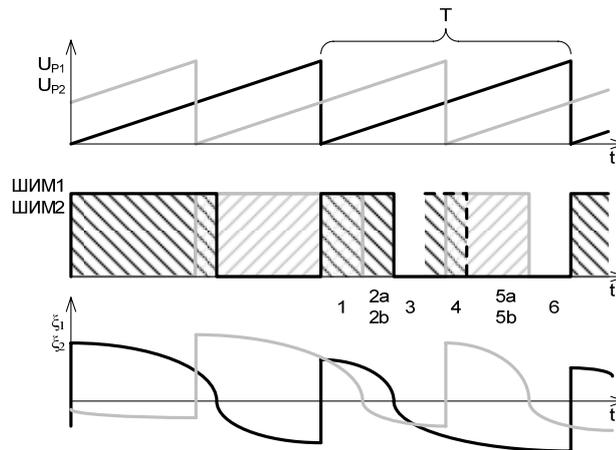


Рис. 3. Потенциально возможные состояния двухфазного преобразователя за один тактовый интервал

Каждый тактовый интервал можно разбить в общем случае на шесть потенциально возможных участков непрерывности системы, где она линейна (рис. 3). Понятно, что все они на одном и том же тактовом интервале не встречаются никогда, а некоторые взаимоисключают друг друга, как, например, пары 2а–2б, 5а–5б.

Длительность и факт существования участков непрерывности целиком определяются коэффициентами заполнения на соответствующем участке и соседних справа и слева тактовых интервалах (таблица).

Возможные состояния преобразователя за один тактовый интервал

№	\mathbf{B}	T , относительная длительность
1	$\mathbf{B}_1 = \mathbf{B}_3$	$\tau_{k,1} = (z_{k-1}^2 - 0,5) \cdot \eta(z_{k-1}^2 - 0,5)$
2а	$\mathbf{B}_{2a} = \mathbf{B}_1$	$\tau_{k,2a} = z_k^1 - (z_k^1 - 0,5) \cdot \eta(z_k^1 - 0,5) - \tau_{k,1}$
2б	$\mathbf{B}_{2b} = \mathbf{B}_2$	$\tau_{k,2b} = (z_{k-1}^2 - (0,5 + z_k^1)) \cdot \eta(z_{k-1}^2 - (0,5 + z_k^1))$
3	$\mathbf{B}_3 = \mathbf{B}_0$	$\tau_{k,3} = (0,5 - z_k^1) \cdot \eta(0,5 - z_k^1)$

Продолжение таблицы

4	$\mathbf{B}_4=\mathbf{B}_3$	$\tau_{k,4}=(z_k^1-0,5)\cdot\eta(z_k^1-0,5)$
5a	$\mathbf{B}_{5a}=\mathbf{B}_2$	$\tau_{k,5a}=z_k^2-(0,5-z_k^2)\cdot\eta(z_k^2-0,5)-\tau_{k,4}$
5б	$\mathbf{B}_{5b}=\mathbf{B}_1$	$\tau_{k,5b}=(z_k^1-(0,5+z_k^2))\cdot\eta(z_k^1-(0,5+z_k^2))$
6	$\mathbf{B}_6=\mathbf{B}_0$	$\tau_{k,6}=(0,5-z_k^2)\cdot\eta(0,5-z_k^2)$

То есть, зная коэффициенты заполнения коммутирующих функций, а также начальный вектор переменных состояния системы, можно найти вектор неизвестных в узловых точках p любого тактового интервала k по формуле

$$\mathbf{X}_{k,p}(\mathbf{Z}^1, \mathbf{Z}^2) = \mathbf{e}^{\mathbf{A}a \sum_{i=1}^p \Delta t_{k,i}} \left(\mathbf{e}^{\mathbf{A}a \cdot (k-1)} (\mathbf{X}_0 + \mathbf{A}^{-1} \mathbf{B}_1) - \left[- \sum_{r=0}^{k-2} \mathbf{e}^{\mathbf{A}ar} \left(\mathbf{A}^{-1} \left(\sum_{v=1}^6 \mathbf{e}^{\mathbf{A}a \sum_{i=v}^6 \Delta t_{k-r-1,i}} (\mathbf{B}_{v-1} - \mathbf{B}_v) \right) + \mathbf{B}_6 \right) + \mathbf{A}^{-1} \mathbf{B}_1 \right] \right) - \mathbf{A}^{-1} \left(\sum_{v=2}^p \mathbf{e}^{\mathbf{A}a \sum_{i=v}^p \Delta t_{k,i}} (\mathbf{B}_{v-1} - \mathbf{B}_v) + \mathbf{B}_p \right).$$

Функции обратной связи ξ_k^1 и ξ_k^2 пересекают ось абсцисс в моменты времени $t_{k,2}$ и $t_{k,5}$ соответственно:

$$\begin{aligned} \xi_{k,2}^1(\mathbf{Z}^1, \mathbf{Z}^2) &= \alpha(U_Y - \beta \mathbf{X}_{k,2}[3]) - U_{on} z_k^1 = 0, \\ \xi_{k,5}^2(\mathbf{Z}^1, \mathbf{Z}^2) &= \alpha(U_Y - \beta \mathbf{X}_{k,5}[3]) - U_{on} z_k^2 = 0, \end{aligned} \quad \text{где } k=1 \dots m.$$

Исходя из этого обстоятельства, а также из условия периодичности искомого решения – $\mathbf{X}_0 = \mathbf{X}_{m,6}$, построим систему уравнений относительно коэффициентов заполнения \mathbf{Z}^1 и \mathbf{Z}^2 :

$$\Phi(\mathbf{Z}) = \mathbf{0}, \quad \text{где } \Phi(\mathbf{Z}) = \begin{bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{Z} = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}_1 \\ \mathbf{Z}_2 \end{bmatrix}; \quad \Phi_1 = \begin{bmatrix} \xi_{1,2}^1 \\ \vdots \\ \xi_{m,2}^1 \end{bmatrix}; \quad \Phi_2 = \begin{bmatrix} \xi_{1,5}^2 \\ \vdots \\ \xi_{m,5}^2 \end{bmatrix}.$$

Решение данной системы – векторы коэффициентов заполнения \mathbf{Z}^1 и \mathbf{Z}^2 полностью определяют m -периодическое решение исходной задачи в узлах тактовой сетки, названное в [7] *m*-циклом. Это решение может рассматриваться как точечное отображение (Пуанкаре) и позволяет проводить бифуркационный анализ поведения системы в многомерном пространстве параметров.

Данная методика отыскания решений позволяет, в зависимости от выбора начальных условий поиска \mathbf{Z} , строить все возможные решения исходной системы – как устойчивые, так и неустойчивые. Это свойство особенно важно для анализа нелинейной динамики системы ввиду того, что численные методы постро-

ния решений и известные САПР не позволяют производить поиск неустойчивых решений исходной задачи. В то же время картина поведения системы в пространстве параметров не может считаться полной без информации о неустойчивых решениях, оказывающих влияние на размеры и расположение областей существования устойчивых сигналов, а также на сценарии изменения устойчивости тех или иных режимов.

Моделирование динамики рассматриваемой системы проводилось при указанных ниже исходных данных.

Параметры силовой части: входное напряжение преобразователя $E = 1000$ В; сопротивление нагрузки $R_n = 100$ В; индуктивность дросселей $L = 0,2$ Гн, $r_n = 10$ Ом; емкость выходного фильтра $C = 1$ мкФ; частота коммутации силовых ключей (частота квантования) $a = 10$ кГц.

Параметры системы управления: масштабный коэффициент цепи обратной связи $\beta = 0,01$; амплитуда развертывающих напряжений $U_{P1} = U_{P2} = 10$ В; коэффициент усиления корректирующего устройства α изменяется при расчетах от 1 до 350, а управляющее напряжение U_V – от 0,01 до 10 В.

Сравнительная оценка динамики преобразователей

Построенная таким образом методика расчета мгновенных значений вектора переменных состояния двухфазного понижающего преобразователя $\mathbf{X}(t)$ позволяет проанализировать поведение системы при различных значениях параметров цепи обратной связи, силовой части преобразователя и сопоставить полученные результаты с аналогичными показателями однофазного преобразователя с широтно-импульсной модуляцией [3].

Положив в исследуемой системе уравнений число фаз $n = 1$, построим приведенную на рис. 4 двухпараметрическую бифуркационную диаграмму – обобщенную карту областей существования детерминированных и стохастических режимов однофазного преобразователя. Эта диаграмма в пространстве параметров α , изменяющегося от 1 до 250, и U_V , изменяющегося от 0,01 до 10 В, позволяет оценить топологию различных областей m -циклов, определить критическое значение коэффициента усиления пропорционального регулятора.

Здесь штриховкой и символами $V_{i,j}$ отмечены области существования различных динамических режимов (i – m -цикл, характерный для данной области, j – номер области на карте динамических режимов). Под m -циклом будем понимать, как в [7], отношение частоты квантования a к частоте субгармонического режима. В частности, область $V_{1,1}$ представляет собой область существования основного ($m = 1$) проектного режима. Символами $V_{i,j}^*$ отмечены неодносвязные области m -циклов, границы которых обведены точечными контурами. Незаштрихованные области V_X соответствуют недетерминированным режимам функционирования преобразователя ($m \rightarrow \infty$). Особенностью диаграммы является преобладание по всему диапазону регулирования сценария последовательных мягких удвоений периода, представляющего собой каскад бифуркационных переходов $V_{1,1} - V_{2,1} - V_{4,1} - V_{8,1} - \dots - V_X$. Под мягким удвоением здесь понимается возникновение нового режима, амплитуда колебаний которого увеличивается плавно по мере увеличения коэффициента усиления пропорционального регулятора.

Проследим эту эволюцию с точки зрения поведения мультипликаторов. В диапазоне значений $\alpha_1 < \alpha < \alpha_2$ (рис. 4, б) собственные числа фундаментальной матрицы являются действительными, а в диапазоне значений $\alpha_2 < \alpha < \alpha_3$ мультипликаторы становятся комплексно-сопряженными, однако перед границей ус-

тойчивости α_4 мнимая часть ρ_{1j} обнуляется и один из мультипликаторов ρ_{1r} пересекает границу единичного круга ($\rho_{2r} = -1$), что свидетельствует о потере устойчивости проектного режима и зарождении устойчивого двухциклового режима в диапазоне $\alpha_1 < \alpha < \alpha_4$. Как видно из рисунка, все бифуркационные переходы мягкого удвоения связаны с локальными суперкритическими бифуркациями [3], что соответствует сценарию Фейгенбаума. Общим свойством эволюции мультипликаторов по такому сценарию является монотонность изменения действительной части ρ_{ir} от +1 до -1.

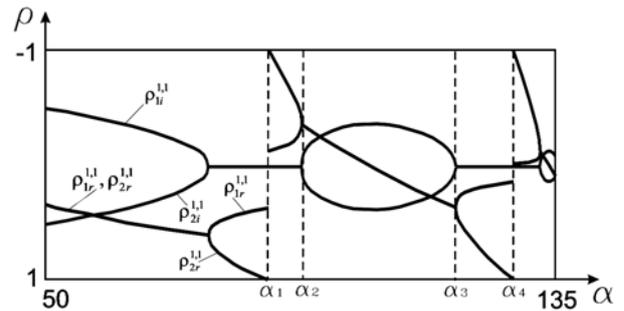
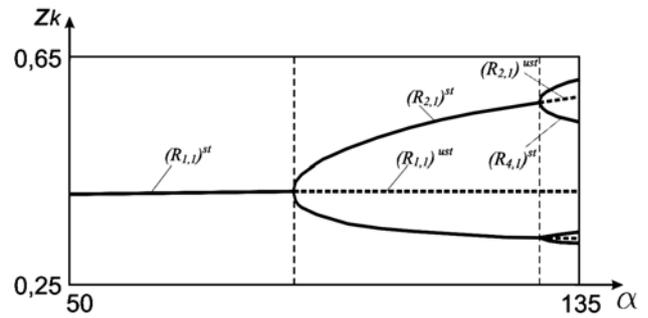
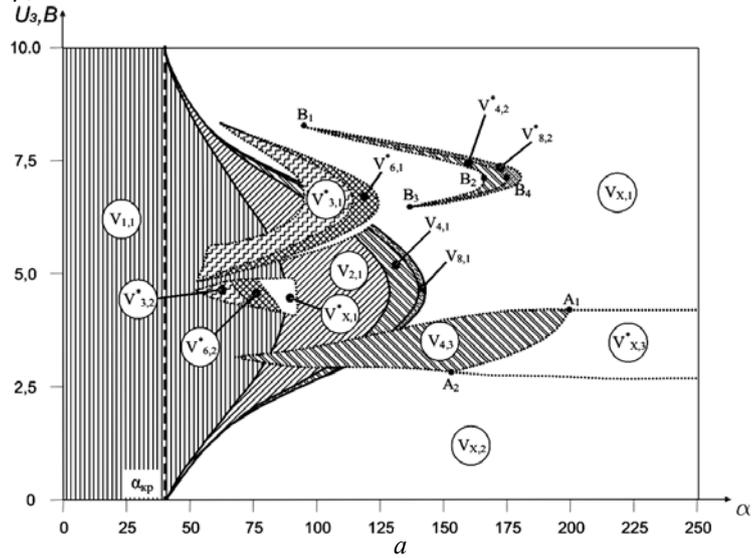


Рис. 4. Двухпараметрическая бифуркационная диаграмма однофазного понижающего преобразователя (а) и диаграммы изменения коэффициента заполнения и мультипликаторов основной матрицы по сценарию удвоения периода (б)

б

При малых значениях α периодическое решение, соответствующее области $V_{1,1}$, устойчиво и единственно, при $\alpha > 50$ появляются области $V_{3,1}^*$, $V_{3,2}^*$, характеризующиеся жестким возникновением соответствующих периодических режимов со скачкообразным увеличением, примерно на порядок, размаха переменной составляющей выходного напряжения.

Положив в исходной системе уравнений число фаз $n = 2$, построим двухпараметрическую бифуркационную диаграмму двухфазного преобразователя (рис. 5) при нулевых начальных условиях, на которой области существования различных режимов выделены различным цветом. Здесь расчетные параметры соответствуют таковым для однофазного преобразователя.

Область существования основного одноциклового режима V_1 изменяется в диапазоне $0 < \alpha < 140$, т.е. расширяется, по сравнению с $n = 1$ (см. рис. 4), более чем в два раза. Проектный одноциклового режим ($m = 1$) по мере увеличения α сменяется неодносвязанными областями жестковозбуждаемых режимов V_3 (при $\alpha = 170$), V_5 (при $\alpha = 240$) и V_∞ (на рисунке выделенной белым цветом).

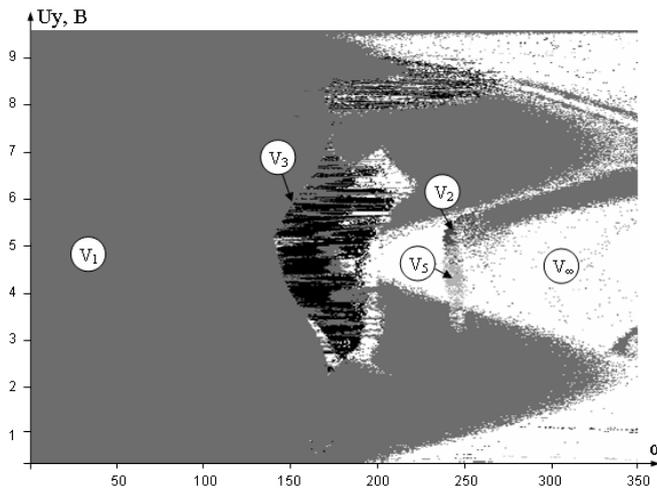


Рис. 5. Двухпараметрическая бифуркационная диаграмма двухфазного понижающего преобразователя

Многочисленные расчеты диаграмм такого рода при ненулевых начальных условиях показывают, что и в этом случае граница существования области проектного режима определяется бифуркационными процессами зарождения ветвей удвоения периода вплоть до хаотизации режимов функционирования преобразователя. Однако установить механизм потери устойчивости проектным режимом возможно на основе анализа характера эволюции мультипликаторов фундаментальной матрицы. В качестве примера на рис. 6, а–в приведены диаграммы z_k , ρ и коэффициента пульсации $K_{\text{П}}$ как функций от параметра α соответственно при нулевых начальных условиях, а на рис. 6, г–е – при ненулевых. Эквивалентное значение коэффициента пульсаций выходного напряжения достигается снижением частоты квантования каждой фазы преобразователя вдвое ($f = 5$ кГц).

Можно видеть, что в области устойчивости проектного режима многофазного преобразователя с четным числом фаз собственные числа фундаментальной матрицы являются комплексно-сопряженными, действительная часть корней носит экстремальный характер, при достижении которого мнимые части обнуляются. Можно предположить, что это новый вид мягкой бифуркации – **бифуркация расхождения фаз**. Первым признаком этого может служить факт изменения действительной части комплексно-сопряженных корней ρ_{ir} от $+1$ до $+1$. Кроме того,

несмотря на внешнюю схожесть бифуркационной диаграммы коэффициентов заполнения (см. рис. 6, а), двухцикловому режиму соответствует фазовое расхождение этих коэффициентов, поскольку $z^1_k = z^1_{k+1} = z^1_{k+2} \dots \neq z^2_k = z^2_{k+1} = z^2_{k+2} \dots$, а на одном тактовом интервале $z^1_k + z^2_k = z_k = \text{const}$. При больших возмущающих воздействиях (см. рис. 6, з-е) потеря устойчивости проектного режима наступает при меньших значениях $\alpha \approx 70$, и зарождение ветви жестко возбужденных режимов сопровождается квазипериодическим режимом в узком диапазоне изменения этого параметра. Кроме того, характер изменения мультипликаторов в области устойчивого существования жестко возбужденного трехциклового режима соответствует бифуркации расхождения.

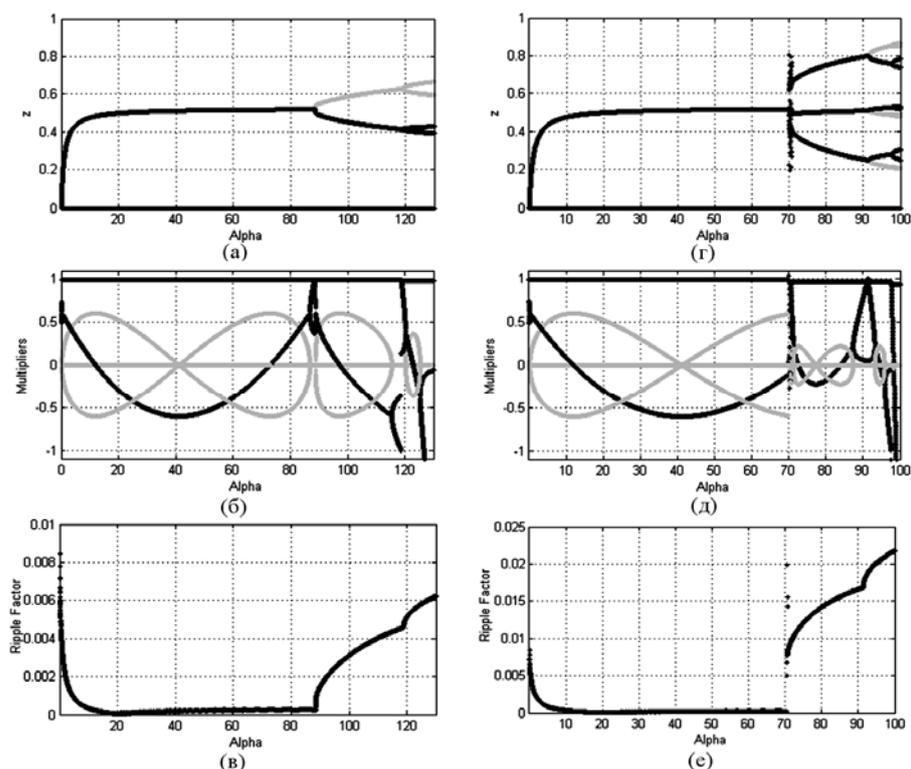


Рис. 6. Характер изменения коэффициентов заполнения и мультипликаторов преобразователя по сценарию удвоения периода

Выводы

1. Бифуркационный анализ позволяет получить общую картину развития квазиустановившихся режимов функционирования нелинейных импульсных систем и определить области устойчивости и одновременного существования проектного и аномальных режимов.

2. В многофазных структурах источников питания модульного типа потеря устойчивости проектным режимом обусловлена новым видом бифуркации – *бифуркацией расхождения*, характерной чертой которой является достижение действительной частью комплексно-сопряженных корней значения +1.

3. Появление дополнительной степени свободы в математических моделях преобразователей модульного типа ставит на реальную основу достижение мак-

симально возможных запасов устойчивости, при которых мнимые части мультипликаторов будут удерживаться около нулевого значения.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта № 02.740.11.0068.

Литература

1. Кобзев А.В. Многозонная импульсная модуляция. Теория и применение в системах преобразования электрической энергии. Новосибирск: Наука, 1979. 304 с.
2. Кобзев А.В., Михальченко Г.Я., Музыченко Н.М. Модуляционные источники питания РЭА. Томск: Радио и связь. Томский отдел, 1990. 336 с.
3. Кобзев А.В., Михальченко Г.Я., Андриянов А.А., Михальченко С.Г. Нелинейная динамика полупроводниковых преобразователей. Томск: Том. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. 224 с.
4. Андриянов А.И., Михальченко Г.Я. Сравнительная характеристика различных видов ШИМ по топологии областей существования периодических режимов // Электричество. 2004. № 12. С. 46–54
5. Андриянов А.И., Михальченко Г.Я. Математическое моделирование импульсных преобразователей напряжения на базе однополярной реверсивной модуляции // Мехатроника, автоматизация и управление. М., 2005. № 1.
6. Баушев В.С., Жусубалиев Ж.Т. О недетерминированных режимах функционирования стабилизатора напряжения с широтно-импульсным регулированием // Электричество. 1992. № 8. С. 47–53.
7. Алейников О.А., Баушев В.С., Кобзев А.В., Михальченко Г.Я. Исследование локальной устойчивости периодических режимов в нелинейных импульсных системах // Электричество. 1991. № 4. С. 16–21.
8. Thottuvelil V.J., Verghese G.C. Analysis and control of paralleled dc/dc converters with current sharing // IEEE Trans. Power Electron. 1998. Vol. 13, July. P. 635–644.
9. Jovanović M.M., Crow D.E., Lieu F.Y. A novel, low-cost implementation of 'democratic' load-current sharing of paralleled converter modules // IEEE Trans. Power Electron. 1996. Vol. 11, July. P. 604–611.
10. Panov Y., Rajagopalan J., Lee F.C. Analysis and design of N paralleled converters with master-slave current-sharing control, in Proc. // IEEE APEC'97. 1997. P. 436–442.
11. Iu H.H.C., Tse C.K. Bifurcation Behavior in Parallel-Connected Buck Converters // IEEE Trans. Circuits Syst. I. 2001. Vol. 48. Feb. P. 233–240.
12. Tse C.K. Flip Bifurcation and Chaos in Three-State Boost Switching Regulators, // IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Theory and Applications. 1994 Vol. CAS-41, №1. Jan., P. 16–23.

УДК: 621.039

**О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ РАБОЧЕГО ДАВЛЕНИЯ
ПЛАЗМЕННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

А.К. Гореев, А.С. Климов, В.А. Бурдовицин

Представлены результаты исследования электрической прочности ускоряющего промежутка в плазменном источнике электронов на основе разряда с полым катодом, функционирующим в форвакуумной области давлений. Экспериментально установлено, что электрическая прочность ускоряющего промежутка оказывается выше при наличии разряда в катодной полости, а следовательно, и электронного пучка в области ускорения. Предельное рабочее давление плазменного электронного источника, достигнутое в экспериментах, составило 40 Па.

Ключевые слова: разряд с полым катодом, форвакуум, электронный пучок, электронный источник, электрическая прочность.

Плазменные источники стационарных электронных пучков традиционно работают при давлениях в разрядном промежутке, не превышающих 20 Па [1]. Повышение давления газа в вакуумной камере и, следовательно, разрядном промежутке неизбежно приводит к снижению электрической прочности. Ранее в работах [2] сообщалось об эффекте повышения электрической прочности ускоряющего промежутка плазменного источника электронов в присутствии электронного пучка. Предельные рабочие давления, полученные в этих работах, не превышали 13 Па [3]. Целью настоящей работы являлось более детальное исследование влияния присутствия пучка в ускоряющем промежутке на электрическую прочность этого промежутка и определение возможности генерации электронных пучков при давлениях более 20 Па.

Техника и методика эксперимента

Экспериментальный макет плазменного источника электронов схематично изображен на рис. 1. Разрядно-эмиссионная система электронного источника состояла из цилиндрического полого катода 1 с водяной рубашкой охлаждения 2, плоского анода 3, эмиссионное окно которого представляло собой перфорированную пластину 4, и экстрактора конусообразной формы 5. Все электроды были выполнены из нержавеющей стали и разделены стандартными керамическими изоляторами 6 и 7. Ускорение электронов и первичное формирование пучка осуществляется в промежутке анод 3 – экстрактор 5. После извлечения электронный пучок попадает под воздействие магнитного поля фокусирующей системы, где и происходит его окончательное формирование.

Макет плазменного источника размещался на фланце вакуумной камеры. В качестве рабочих газов использовались аргон, гелий и остаточная атмосфера вакуумной камеры. Предварительный вакуум составлял 3 Па, затем напускался рабочий газ до необходимого давления. Инициирование пробоя осуществлялось либо увеличением ускоряющего напряжения, либо повышением давления газа.

Предельные значения давления p_{\max} и ускоряющего напряжения U_{\max} фиксировались в момент непосредственно перед резким возрастанием тока в цепи ускоряющего электрода (т.е. пробоем).

Результаты эксперимента

Экспериментальные зависимости ускоряющего напряжения от давления газа при нулевом токе разряда представляют собой левые ветви кривых Пашена, снятые при неизменном межэлектродном расстоянии (рис. 2). Пробой в этом случае означал зажигание низковольтного разряда между анодом и экстрактором плазменного источника. Изменение положения кривых при смене рода газа в вакуумной камере типично для гелия, аргона и остаточной атмосферы. Иная зависимость получается при наличии разряда в катодной полости. При установленном ускоряющем напряжении и разрядном токе 100 и 160 мА зависимость предельного напряжения от давления газа представляется возрастающей кривой (рис. 3).

Характер зависимости резко отличается от представленной в [3], где с ростом тока разряда электрическая прочность ускоряющего промежутка увеличивалась.

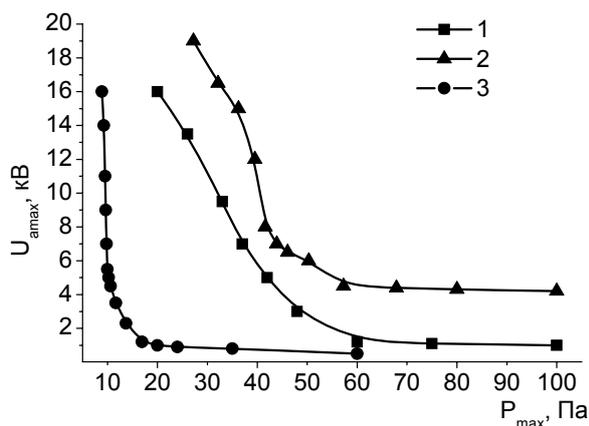


Рис. 2. Зависимость предельного ускоряющего напряжения от давления газа: 1 – воздух; 2 – гелий; 3 – аргон

увеличивается число ионов, поступающих в разрядную плазму, а следовательно, и ее концентрация, что в конечном итоге приводит к пробое. Увеличение ускоряющего напряжения при неизменном токе разряда повышает потенциал разрядной плазмы и приводит к увеличению толщины ионного слоя. В этом случае для пробоя требуется большее давление газа. Уменьшение давления газа, при

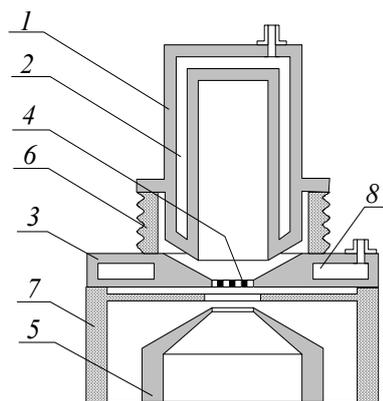


Рис. 1. Электродная схема электронного источника: 1 – полый катод; 2 – водяная рубашка охлаждения катода; 3 – анод; 4 – перфорированный электрод; 5 – экстрактор; 6, 7 – керамические высоковольтные изоляторы; 8 – водяная рубашка охлаждения анода

Полученные результаты находят свое объяснение в рамках модели, изложенной в [2]. Согласно этой модели пробой происходит при проникновении разрядной плазмы в ускоряющий промежуток. При установленном ускоряющем напряжении и поддержании постоянным тока разряда на величину ионного слоя, отделяющего плазму от анодного электрода, существенно влияет величина обратного ионного потока из заанодной плазмы, образованной электронным пучком [4]. С ростом давления

котором возможен режим устойчивой генерации электронного пучка при повышении тока разряда, связано со стабилизирующим действием слоя пространственного заряда, отделяющего плазму от сетки и предотвращающего «проваливание» плазменной границы

в ускоряющий промежуток.

Увеличение разрядного тока при постоянном ускоряющем напряжении приводит к тому, что протяженность ионного слоя, отделяющего плазму от анодного электрода, оказывается сравнимой с размерами отверстий в перфорированной пластине в аноде и, следовательно, устойчивость плазменной границы уже не может быть обеспечена при повышении давления.

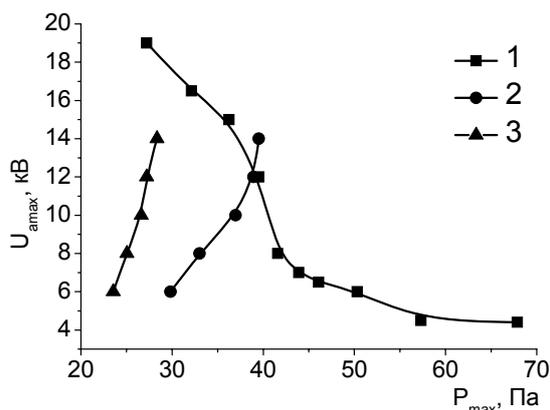


Рис. 3. Зависимость предельного ускоряющего напряжения от давления. Ток разряда: 1 – 0 мА, 2 – 100 мА, 3 – 160 мА

Заключение

Проведенные исследования свидетельствуют о повышении электрической прочности ускоряющего промежутка плазменного электронного источника при наличии электронного пучка. Представленные результаты свидетельствуют о возможности генерации электронных пучков при давлениях до 40 Па.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 09-08-99023-р_офи и гранта Рособразования № 2.1.2/1951.

Литература

1. Источники электронов с плазменным катодом: физика, техника, применения / Окс Е.М. Томск: Изд-во научно-технической литературы, 2005. С. 37.
2. Бурдовицин В.А., Куземченко М.Н., Окс Е.М. Об электрической прочности ускоряющего промежутка плазменного источника электронов в форвакуумном диапазоне давлений // ЖТФ. 2002. Т. 72, вып. 7. С. 134–136.
3. Бурачевский Ю.А., Бурдовицин В.А., Мытников А.В., Окс Е.М. О предельном рабочем давлении плазменного источника электронов на основе разряда с полым катодом // ЖТФ. 2001. Т. 71, вып. 2. С. 48–50.
4. Жирков И.С., Бурдовицин В.А., Окс Е.М., Осипов И.В. Инициирование разряда в плазменном источнике электронов с полым катодом // ЖТФ. 2006. Т. 76, вып. 10. С. 128–132.

ПЛАЗМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ОБЛАСТИ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ ФОРВАКУУМНОГО ИСТОЧНИКА С ПЛАЗМЕННЫМ КАТОДОМ

Е.Э. Поздеев, Ю.Г. Юшков, А.В. Медовник

Приведены конструкция и основные параметры плазменного источника электронов, предназначенного для формирования импульсного широкоапертурного электронного пучка в форвакуумном диапазоне давлений (5-20 Па). Представлены результаты исследования временной эволюции плазмы в области транспортировки электронного пучка для источника электронов с кольцевой эмиссионной поверхностью.

Ключевые слова: плазменный источник электронов, тлеющий разряд, полый катод, форвакуумная область давлений, эмиссия электронов из плазмы.

Плазменные источники электронов, основанные на тлеющем разряде с полым катодом, способны обеспечить генерацию в непрерывном режиме цилиндрических и ленточных пучков с энергией 20 кэВ при давлении до 20 Па, которое легко получить при использовании только форвакуумной (механической) ступени откачки. Привлекательность генерации таких пучков в импульсном режиме связана и с возможностью электронно-лучевой обработки поверхности в присутствии химически активных газов. Существование в области транспортировки пучка плотной плазмы обуславливает возможности его применения для поверхностной обработки диэлектрических материалов, поскольку электрический заряд, вносимый на поверхность электронным пучком, эффективно нейтрализуется этой плазмой.

Для плазменных источников электронов с плазменным катодом, функционирующих в форвакуумном диапазоне давлений, величина обратного ионного тока из области транспортировки электронного пучка в источник может достигать 5–10% от тока самого пучка, что как минимум на порядок больше, чем у традиционных плазменных источников электронов, функционирующих в области более низких давлений. Именно величина обратного тока ионов становится фактором, определяющим не только максимальную амплитуду импульса тока электронного пучка, но и его максимальную длительность.

Исходя из предположения, что основным источником обратного потока ионов является плазма в пространстве дрейфа пучка, открывается возможность контроля роста концентрации плазмы, что позволяет увеличить длительность и амплитуду импульса тока в пучке [1].

Для исследования распределения концентрации плазмы в области за ускоряющим электродом было проведено ее измерение с помощью подвижного зонда. Схема эксперимента представлена на рис. 1. Размер собирающей поверхности зонда составлял 7×4 мм. Измерение ионного тока осуществлялось осциллографом Tektronix TDS 2004B (рис. 2).

Для расчета временной эволюции концентрации плазмы было использовано уравнение диффузии в цилиндрических координатах [2], представленное ниже:

$$\frac{1}{a^2} \frac{\partial n}{\partial t} = \frac{\partial^2 n}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial n}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 n}{\partial \Theta^2} + \frac{\partial^2 n}{\partial z^2} + f_1 - f_2, \quad (1)$$

где $n(r, \theta, t, z)$ – концентрация плазмы в четырехмерных координатах; f_1 – обобщенные функции увеличения концентрации; f_2 – обобщенные функции уменьшения концентрации.

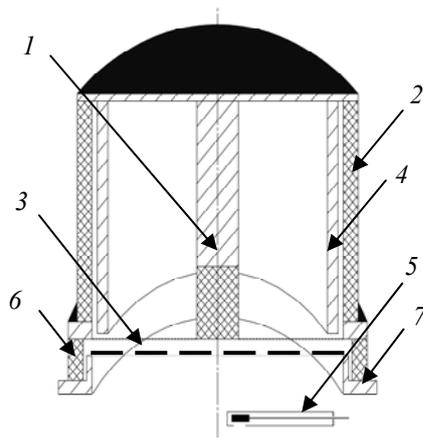


Рис. 1. Источник электронов с кольцевой плазменной поверхностью: 1 – катодная вставка; 2 – изолятор разрядного промежутка; 3 – область ускорения электронов; 4 – трубчатый полый катод; 5 – зонд; 6 – изолятор ускоряющего промежутка; 7 – ускоряющий электрод с сеткой

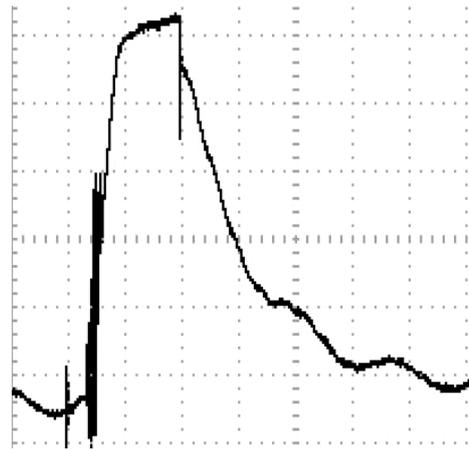


Рис. 2. Типичная осциллограмма тока зонда

Ввиду того, что задача является аксиально-симметричной, все производные по углу θ принимались равными нулю. Для упрощения уравнения было предположено, что концентрация и вдоль оси Z не изменяется. С учетом этого уравнение (1) будет иметь вид

$$\frac{\partial n(r,t)}{\partial t} = D_a \left(\frac{\partial^2 n(r,t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial n(r,t)}{\partial r} \right) + f_1(r,t) - f_2(r,t) - f_3(r,t). \quad (2)$$

В квазинейтральной плазме существование градиента концентраций приводит к амбиполярной диффузии, для которой характерно движение ионов и электронов в одном направлении. Поскольку плазма генерируется в результате ионизации нейтралов газа, очевидно, что число ионов и электронов, появляющихся в единицу времени, одинаково. Поскольку более подвижные электроны могут покинуть область ионизации гораздо быстрее, чем ионы, то возникает область нескомпенсированного положительно заряда, которая создает поле, ускоряющее ионы и удерживающее электроны, и тем самым поддерживающего квазинейтральность плазмы. В равновесном случае скорости ионов и электронов выравниваются, а коэффициент амбиполярной диффузии их однонаправленного движения D_a можно оценить как [3]

$$D_a = \frac{b_i \cdot k \cdot T_e}{e}, \quad (3)$$

где b_i – подвижность ионов; T_e – температура электронов.

Плазма в области дрейфа генерируется за счет пучка ускоренных электронов, который в источнике с кольцевой эмиссионной поверхностью плазмы имеет распределение мощности по радиусу, представленное на рис. 3.

Изменение концентрации плазмы в радиальных и временных координатах можно выразить как [3]

$$f_1(r,t) = \frac{j_e(r,t) \cdot p \cdot \sigma}{e \cdot k \cdot T_{gas}}, \quad (4)$$

где $j_e(r,t)$ – значение плотности тока в пучке в зависимости от координаты и времени; p – давление; σ – сечение ионизации электронным ударом; T_{gas} – температура газа. Эмиссия ионов, снижающая концентрацию плазмы, оценивается в соответствии с формулой Бома [4]:

$$f_2(r,t) = j_i = \frac{0,4 \cdot n(r,t)}{\lambda_i} \sqrt{\frac{2k \cdot T_e \cdot Na}{M_i}}, \quad (5)$$

где M_i – масса иона.

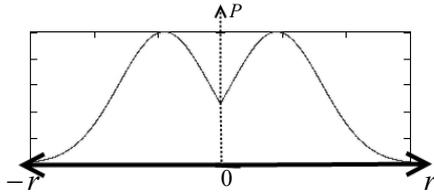


Рис. 3. Распределение мощности в пучке электронов

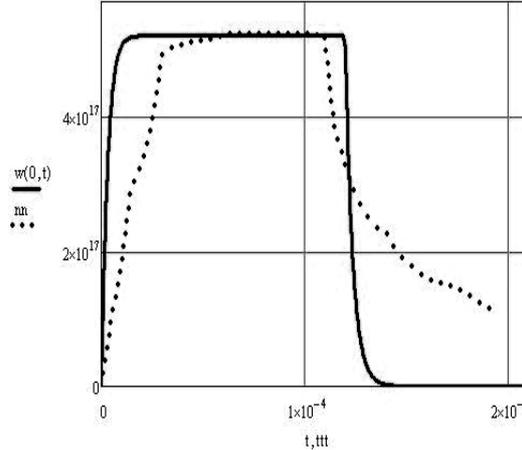


Рис. 4. Концентрация плазмы: эксперимент (точки) и расчет (линия)

Другим фактором, ответственным за снижение концентрации плазмы, является объемная рекомбинация, вклад которой можно оценить как [5]

$$f_3(r,t) = \beta \cdot n(r,t)^2, \quad (6)$$

где β – коэффициент электрон-ионной рекомбинации.

Полученное в итоге одномерное дифференциальное уравнение диффузии для плазмы

$$\frac{\partial n(r,t)}{\partial t} = D_a \left(\frac{\partial^2 n(r,t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial n(r,t)}{\partial r} \right) + \frac{j_e(r,t) \cdot p \cdot \sigma}{e \cdot k \cdot T_{gas}} - \frac{0,4 \cdot n(r,t)}{\lambda_i} \cdot \sqrt{\frac{2k \cdot T_e \cdot Na}{M_i}} - \beta \cdot n(r,t)^2 \quad (7)$$

не имеет аналитического решения, поэтому для его решения было использовано численное моделирование на основе конечно-разностного метода. Результаты расчета и эксперимента для импульса длительностью 120 мкс и давления 12 Па, представленные на рис. 4, имеют удовлетворительное согласие с экспериментом. Расхождения во временах нарастания и спада концентрации объясняются одномерностью рассматриваемой модели и будут устранены в дальнейших исследованиях.

Таким образом, в ходе проделанной работы была аналитически определена временная эволюция концентрации плазмы в области дрейфа электронного пучка

и предложена модель, в рамках которой расчетные и экспериментальные результаты имеют удовлетворительное согласие.

Работа поддержана грантом РФФИ для инициативных научных проектов № 10-08-00257-а.

Литература

1. Исследование временных характеристик источника электронов с плазменным катодом / А.В. Медовник, Е.Э. Поздеев // Научная сессия ТУСУР 2010. Ч. 2. Томск: В-Спектр, 2010.
2. Уравнения в частных производных для инженеров / Дж.Н. Шарма, К. Сингх // М.: Техносфера, 2002.
3. Основы физики низкотемпературной плазмы / Е.М. Окс. Томск: ТУСУР, 1997.
4. Источники электронов с плазменным катодом: физика, техника, применения / Е.М. Окс // Томск.: Изд-во научно-технической литературы, 2005. 212 с.
5. Физика газового разряда / Ю.П. Райзер. Наука, М.: 1992.

УДК 621.039

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПРОФИЛЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ АЛЮМООКСИДНОЙ КЕРАМИКИ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Е.В. Скробов, Ю.Г. Юшков

Проведено решение уравнения теплопроводности с источником для алюмооксидной керамики при электронном импульсном облучении. Получены температурные профили для различных чисел импульсов воздействия, позволяющие определить глубину модифицированной области. Приведена расчетная и экспериментальная зависимость глубины этой области от числа импульсов.

Ключевые слова: алюмооксидная керамика, электронно-лучевая обработка, модифицированный слой, нестационарное уравнение теплопроводности, температурный профиль.

Постановка задачи

Керамику марки ВК95 на основе оксида алюминия подвергают электронно-лучевому воздействию. Плотность j электронного тока в пучке составляет 20 А/см^2 , длительность импульсов $\tau = 36 \text{ мкс}$ при частоте следования $f = 1 \text{ Гц}$. Количество импульсов N меняют от 50 до 500. Напряжение U_a на ускоряющем промежутке источника поддерживают постоянным и равным 15 кВ. Необходимо определить глубину модифицированного приповерхностного слоя керамики, облучаемой электронным потоком.

Расчет температурного поля в керамике при облучении электронным пучком

Задача о распределении температуры в облучаемом электронами керамическом образце решалась в одномерном приближении с учетом следующих допущений. Импульс электронного тока имеет вертикальные фронты. Энергия электронов E_0 соответствует ускоряющему напряжению. Для распределения потерь энергии E электрона по глубине x облучаемого материала использовалась аппроксимация

$$\frac{dE(x)}{dx} = -\frac{E_0}{R} \exp\left(-\frac{x}{R}\right), \quad (1)$$

где R – средний пробег электронов, внедренных в твердое тело.

Величина R рассчитывалась с использованием полуэмпирического соотношения [1], основанного на методе Монте-Карло. С учетом приведенных допущений распределение удельной объемной энергии, вводимой в твердое тело в течение времени t одиночного импульса, определяется соотношением

$$E(x,t) = \frac{dE}{dx} \cdot \frac{j}{q} \cdot t, \quad (2)$$

где j – плотность тока в пучке.

С учетом указанных выше допущений распределение температуры рассчитывалось путем решения нестационарного уравнения теплопроводности с источником тепла

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \frac{\lambda}{C_v \rho} \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} + \frac{1}{C_v \rho} E_s(x,t), \quad (3)$$

где λ , C_v и ρ – теплопроводность, объемная теплоемкость и плотность керамики. Энергия E_s источника тепла представляется в виде

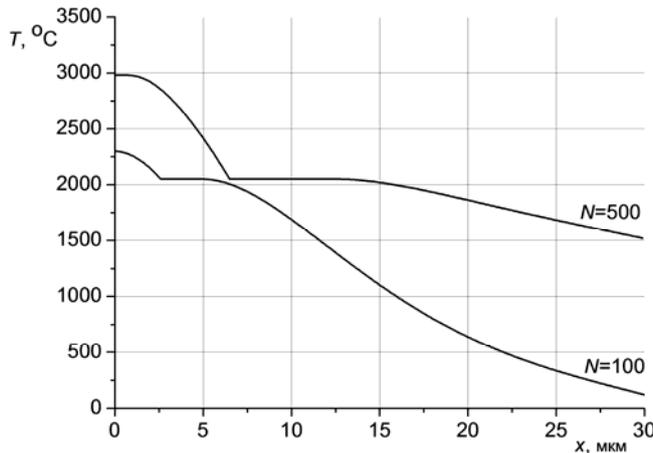
$$E_s(x,t) = E_b(x,t) - E_{ph}(x,t), \quad (4)$$

где $E_b(x,t)$ – энергия, приносимая пучком, а $E_{ph}(x,t)$ – энергия, затрачиваемая на фазовые переходы. В свою очередь E_{ph} может быть представлена выражением

$$E_{ph}(x,t) = L_m \cdot \beta(T(x,t) - T_m) + L_v \cdot \beta(T(x,t) - T_v), \quad (5)$$

где L_m , T_m , L_v , T_v – скрытые теплоты и температуры плавления и испарения соответственно [2]. Уравнение (3) решалось численно методом конечных разностей [3]. Весь диапазон температур разбивался на равные интервалы $\Delta T = 1$ К. Функция β равнялась нулю для всех $T \neq T_m$ и единице при $T = T_m$. Математически она реализуется с использованием фильтрующего свойства δ -функции Дирака, численно – с помощью специального программного кода. Решение уравнения выполнено методом конечных разностей.

Результаты расчетов дали основания утверждать, что за время между им-



пульсами температура становится одинаковой по образцу при его толщине 1 мм. От импульса к импульсу эта температура возрастает на величину в несколько кельвин.

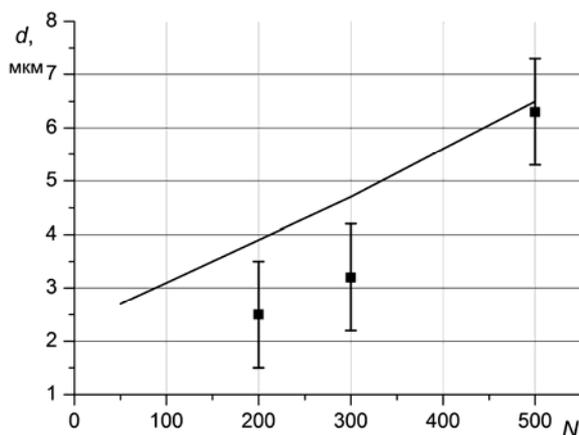
Рис. 1. Пространственное распределение температуры при различных параметрах проведения электронно-лучевой обработки

Таким образом, для каждого последующего импульса повышается уровень, от которого рассчитывается распределение температуры. На рис. 1 приведены

температурные профили, которые формируются к концу импульса, с номером 100 и 500.

Указанное обстоятельство дало возможность построить зависимость толщины расплавленной области от числа импульсов (рис. 2). Несмотря на то, что абсолютное значение глубины проплавления достаточно невелико (от 3 до 6 мкм), ее зависимость от числа импульсов носит тем не менее характер, близкий к линейному в диапазоне от 100 до 500 импульсов.

Для проверки расчета экспериментальными данными была измерена толщина модифицированного слоя с помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM1000. Измерения показали, что глубина расплавленной области в



слое керамики, подвергнутой импульсному воздействию, составляет от 2 до 7 мкм, что удовлетворительно согласуется с проведенным расчетом.

Снимок среза керамики при числе импульсов воздействия, равном 300, приведен на рис. 3.

Рис. 2. Зависимость глубины проплавленной области от числа импульсов

Результаты

Достигаемое значение температуры повышается по мере набора импульсов. В зависимости от выбранных параметров электронного пучка кривая распределения температуры к концу импульса оказывается либо монотонно спадающей, либо содержащей участки постоянной температуры, соответствующие фазовым переходам.

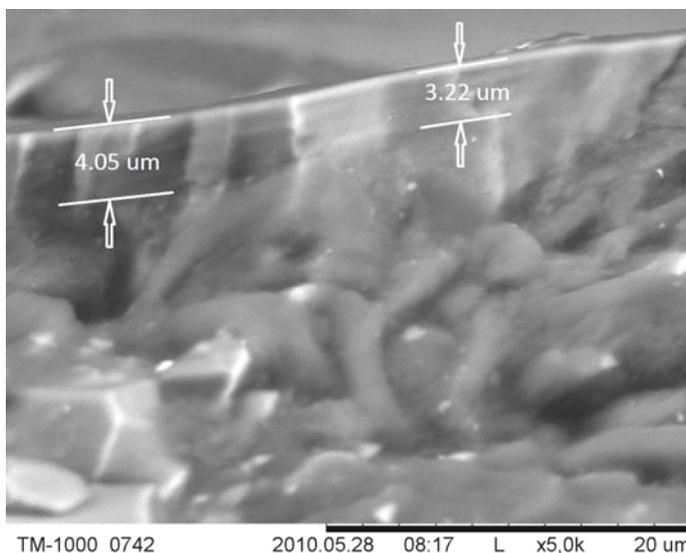


Рис. 3. Срез керамики при 300 импульсах электронного облучения

Толщина расплавленной области составляет величину порядка нескольких микрометров, причем увеличение энергии пучка приводит не к возрастанию этой толщины, а к более резкому повышению температуры и, как следствие, к уносу вещества за счет испарения. Указанное обстоятельство позволяет сделать вывод о том, что для увеличения глубины модифицированной области предпочтительнее использовать увеличение количества импульсов, а не повышение энергии пучка в импульсе.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 10-08-00257-а и гранта Рособразования № 2.1.2/1951.

Литература

1. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ. Т. 1 / Под ред. Дж. Гоулдстейна и др. М.: Мир, 1984. 304 с.
2. Wu D., Liu C., Zhu X.P., Lei M.K. Numerical study on modification of ceramic coatings by high-intensity pulsed ion beam // Vacuum. 2009. № 83. P. 198–200.
3. Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. Т. 2. М.: Государственное изд-во физико-математической литературы, 1959. 620 с.

УДК 621.38:533.9

ОКСИДИРОВАНИЕ КРЕМНИЯ В ПЛАЗМЕ НЕСАМОСТОЯТЕЛЬНОГО ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

Ю.А. Бурачевский, Д.Б. Золотухин

Несамостоятельный тлеющий разряд в атмосфере кислорода при давлениях 20–25 Па, который возбуждался под воздействием электронного пучка, создаваемого плазменным источником электронов с током 10–20 мА и энергией 2,5–5 кэВ, использовался для оксидирования кремния. Между образцом (анодом) и катодом прикладывалось напряжение смещения ~300 В, что значительно понижало напряжение разряда, создавая плотную однородную плазму с электронной температурой 0,6–1,5 эВ и концентрацией электронов порядка 10^{16} – 10^{17} м⁻³ в области кремниевого образца с плотностью тока через него около 1–2 мА/см². Это позволяло создавать бездефектные пленки двуокиси кремния на кремнии со скоростью роста 400–800 нм/ч.

Ключевые слова: тлеющий разряд, кислородная плазма, оксидирование.

Различные методы плазменного оксидирования и анодирования полупроводников позволяют получать качественные тонкие пленки окислов (например, SiO₂) при невысоких температурах [1, 2]. Плазменные источники электронов могут надёжно работать в атмосфере кислорода в диапазоне давлений 5–15 Па [3]. В этом случае электронный пучок создаёт плазму вдоль траектории распространения и вблизи поверхности образца. Изменение параметров электронного пучка позволяет изменять параметры кислородной плазмы и, следовательно, влиять на параметры получаемых слоев окисных плёнок.

Оксидирование проводилось на вакуумной установке с безмасляной откачкой, которая осуществлялась механическим спиральным форвакуумным насосом ISP-500С. Давление в вакуумной камере измерялось линейным вакуумметром Пирани APGX-L. Принципиальная схема установки приведена на рис. 1.

В вакуумной камере 2 при давлении ~20 Па и работающем плазменном источнике электронов 1 между катодом 8 и образцом 4 прикладывалось постоянное

напряжение смещения U_C . Плазменный источник электронов при ускоряющем напряжении $U_{УСК}$ в 2,5–5 кВ генерировал однородный электронный пучок 5 с током 10–15 мА, падающий на коллектор 7 и создающий вокруг себя плазму 6. Между образцом и катодом, расстояние между которыми 10 мм, прикладывалось напряжение смещения U_C в 250–300 В и возникала кислородная плазма с концентрацией электронов 10^{16} – 10^{17} м⁻³. Температура образца не превышала 250 °С. Через образец протекал ток $I_{обр}$, зависимость которого от тока пучка электронного источника $I_{и}$ и напряжения смещения U_C дана на рис. 2.

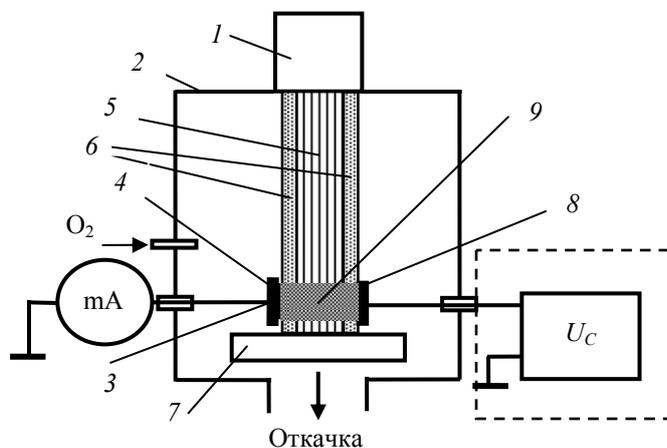


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для плазменного оксидирования кремния: 1 – плазменный источник электронов; 2 – вакуумная камера; 3 – держатель образца; 4 – образец; 5 – электронный пучок; 6 – плазма; 7 – коллектор; 8 – катод; 9 – плазма тлеющего разряда

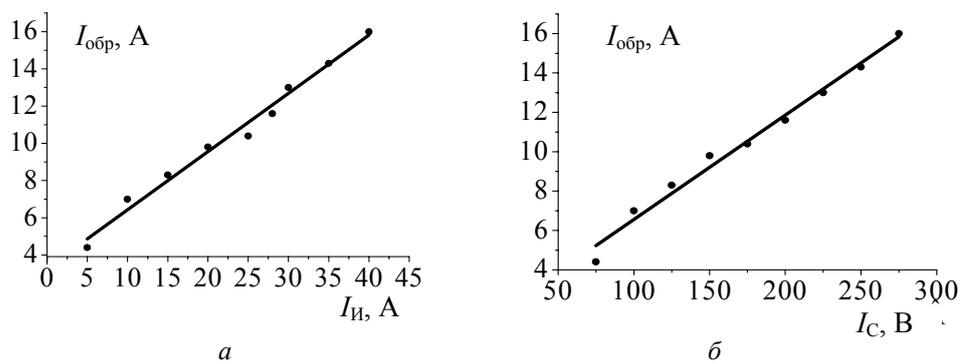


Рис. 2. Зависимость тока через образец $I_{обр}$ от тока источника $I_{и}$ (а) и напряжения смещения U_C (б)

Растущая поверхностная оксидная пленка является диэлектриком, поэтому ток через образец уменьшался. Эта пленка образуется, в основном, за счет реакции кремния с отрицательными ионами кислорода, диффундирующими к границе раздела кремний – окисел [1]. Увеличение тока пучка и напряжения смещения приводит к росту тока через образец, что обусловлено увеличением концентрации плазмы вблизи его поверхности.

Применение описанной схемы эксперимента позволило получить стабильную плазму вблизи поверхности образца и, как следствие, плёнку окисла, не содержащую дефектов (следов пробоев). На рис. 3 приведены виды поверхности кремния и пленки SiO₂, полученные на сканирующем электронном микроскопе Hitachi TM-1000 с максимальным увеличением 10000.

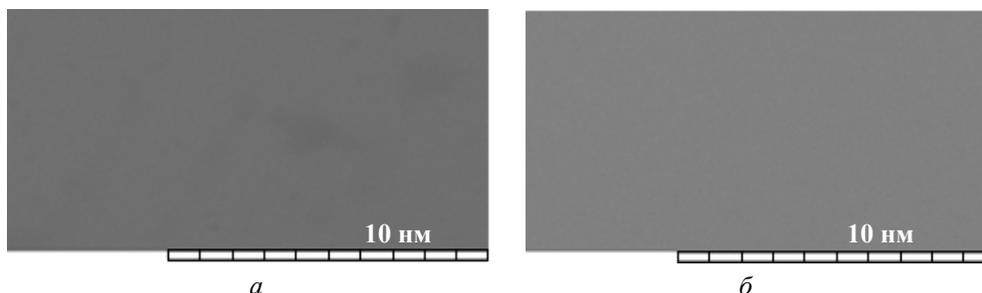
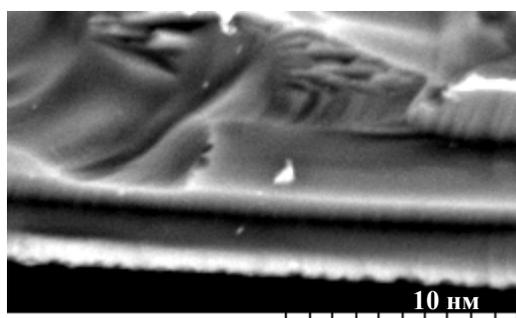


Рис. 3. Поверхность чистого кремния (а), поверхность пленки SiO₂ на поверхности чистого кремния (б)



Измерение толщины пленок окислов осуществлялось по сколу пластины кремния на сканирующем электронном микроскопе Hitachi TM-1000. Вид скола представлен на рис. 4.

Рис. 4. Скол пластины кремния с пленкой SiO₂

Исследования на спектрометре «Infracum FT-800» ИК-спектра пропускания для кремния показал, что в ИК-спектре кремния наблюдается слой SiO₂. ИК-спектр для слоев SiO₂ показан на рис. 5. В спектре для слоев SiO₂ наблюдается характеристический пик при 1108 см⁻¹, соответствующий колебательной связи Si-O [4].

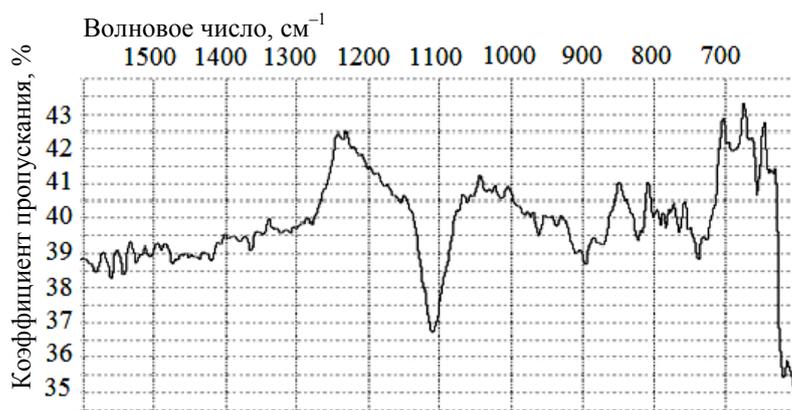


Рис. 5. ИК-спектр слоев окислов кремния. Толщина пленки SiO₂ 300 нм

Зависимость толщины d слоев окислов от времени t оксидирования представлена на рис. 6.

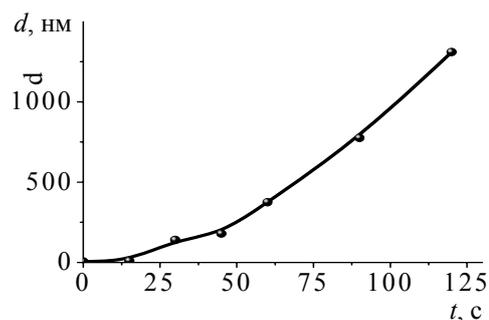


Рис. 6. Зависимость толщины d слоев окислов от времени t оксидирования

Можно утверждать, что электронный пучок плазменного источника был успешно применен для оксидирования полупроводника в кислородной атмосфере при давлениях 20–25 Па. Скорость роста оксидной пленки составила 400–800 нм/час. Эти значения превосходят полученные ранее [1]. На пленках видимых дефектов замечено не было.

Работа была поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований, гранты №№ 09-08-00147-а и 09-08-99023.

Литература

1. Hess D.W. Plasma-assisted oxidation, anodization and nitridation of silicon // IBM Journal of Research and Development. 1999. Vol. 43, №1/2. P. 127–146.
2. Baier-Saip J.A., Avila J.I., et al. Deep oxidation of aluminum by a DC oxygen plasma // Surface and Coating Technology. 2005. Vol. 2–3. P. 168–175.
3. Burdovitsin V.A., Oks E.M. Fore-vacuum plasma-cathode electron sources // Laser and particle beams. 2008. Vol. 26. P. 619–635.
4. Васильев В.В., Войцеховский А.В. и др. Плазмохимическое осаждение пленок диоксида и нитрида кремния для пассивации поверхности КРТ // Прикладная физика. 2007. № 5. С. 62–66.

УДК 303.832.23

АППАРАТ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОЙ КОРРЕКЦИИ

А.А. Бомбизов, Е.В. Бугров, М.Н. Романовский

Представлены результаты разработки компьютерного аппарата психоэмоциональной коррекции.

Ключевые слова: визуальная светотерапия, коррекция психоэмоционального состояния, компьютер, программное обеспечение.

Визуальная светотерапия (ВС) – использование видимого света для профилактики, лечения и реабилитации заболеваний – имеет давнюю историю [1, 2]. Современные аппараты ВС содержат обычно индивидуальную полумаску – очки с отдельными излучателями для глаз пациента и электронный блок управления излучателями.

Примером может служить аппарат психоэмоциональной коррекции (АПЭК) [3]. АПЭК обеспечивает поочередное воздействие на периферические поля зрения левого и правого глаза импульсами света определенной длины волны. Импульсы света имитируют форму нервного импульса в зоне перехвата Ранвье и модулируются альфа-ритмом.

На кафедре конструирования узлов и деталей РЭС по заказу ООО «Свет и жизнь» (директор – Б.А. Наливайко) разработано несколько модификаций аппаратов АПЭК [4, 5]. Здесь представлены результаты разработки аппарата с блоком управления на основе персонального компьютера (ПК).

На рис. 1 показана структурная схема аппарата. ПК генерирует цифровой код, соответствующий выбранному режиму работы излучателей. Этот код посредством USB интерфейса передается в электронный блок, выполненный на микроконтроллере (МК). МК производит широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) данных. Сформированные ШИМ-2 таймером сигналы поступают на фильтр низких частот (ФНЧ), затем – на транзисторные усилители и соответствующие светодиоды. ФНЧ сглаживает импульсы, формируя огибающие сигналов. Усилители коммутируются МК посредством ШИМ-1 таймера.

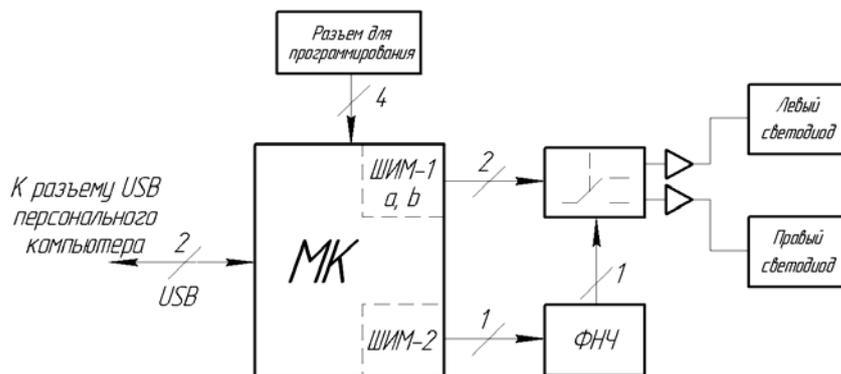
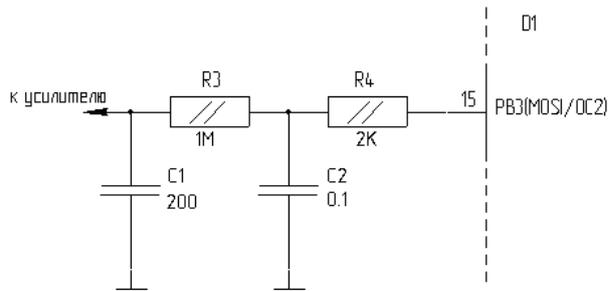


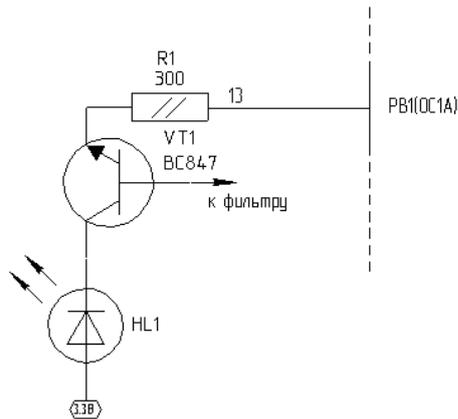
Рис. 1. Структурная схема аппарата



Использован 8-битный МК ATmega8L [6]. ФНЧ представляет собой двухполюсную каскадную RC-цепочку (рис. 2), частота среза – 796 Гц.

Рис. 2. Схема ФНЧ

Для модуляции световых импульсов (с частотой 9,2 Гц и длительностью 1–2 мс) цепи эмиттера транзисторных усилителей (рис. 3) подключаются к портам PC1 и PC2 МК.



МК на основе предварительно полученных с ПК данных генерирует при помощи ШИМ-таймера-1 импульсы необходимой частоты и длительности на выходы PC1 и PC2, в результате чего транзисторы открываются или закрываются, формируя результирующие сигналы.

Рис. 3. Схема транзисторного усилителя

На виртуальной панели программы конечного пользователя представлены (рис. 4): настраиваемый таймер сеанса светотерапии; кнопка запуска – остановки сеанса; две панели, отображающие график яркости свечения и цвет излучателей; строка состояния приложения; кнопка включения-выключения звукового сопровождения.

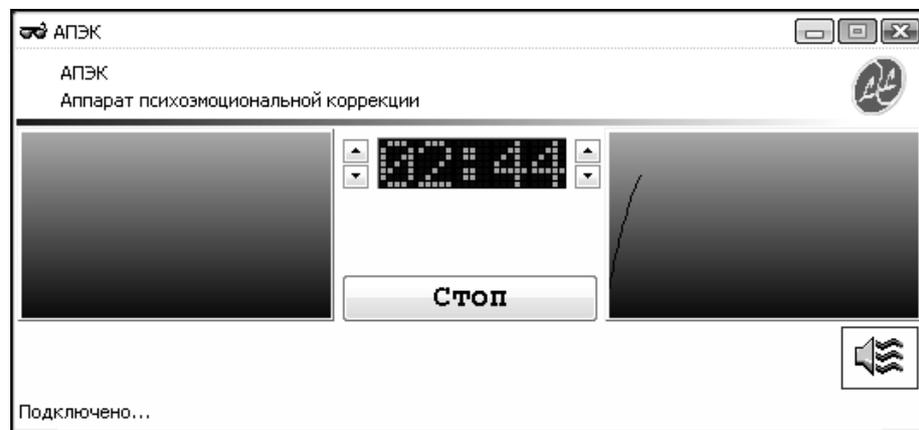


Рис. 4. Интерфейс пользовательской программы в рабочем режиме

Программа калибровки аппарата обеспечивает (рис. 5): выбор цвета светодиодов; настройку яркости (верхнего и нижнего порога) для каждого излучателя;

настройку параметров альфа-импульсов («Частота», «Длительность»); сохранение параметров калибровки в памяти EEPROM; считывание параметров калибровки из памяти EEPROM; демонстрацию работы устройства (кнопка «Тест»); отображение информации о подключении устройства в строке состояния.



Рис. 5. Интерфейс программы калибровки при подключенном аппарате

Общий вид аппарата приведен на рис. 6. Детали корпуса изготовлены литьем под давлением. Печатные узлы электронного блока управления закрепляются на выступах основания корпуса клеем. Из боковой стороны корпуса выводится кабель с разъемом USB для подключения к ПК. Крышка корпуса (задняя панель) снабжена отверстиями для излучателей-светодиодов.



Рис. 6. Общий вид аппарата

АПЭК прошел клинические испытания и разрешен к применению. Аппарат можно использовать в медицинских учреждениях, в дисплейных классах, в быту для коррекции психоэмоционального состояния и профилактики заболеваний органов зрения.

Для проведения сеанса светотерапии необходима комфортная обстановка, желательно включать приятную тихую музыку, пациент должен находиться в положении сидя или лежа [7].

Ежедневно можно проводить от 3 до 5 сеансов лечения психофизиологических расстройств. Курс лечения может длиться от 7 до 21 дня. При необходимости его повторяют после консультации врача.

Литература

1. Беббит 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., Трифонов В.В., Яук Э.Ф. 2005.
4. Бомбизов А.А., Бугров Е.В. 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. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы Atmel. 2-е изд., М.: Додека-XXI, 2005. 560 с.
7. Биорезонансная офтальмоцветотерапия. Профилактика и лечение психосоматических заболеваний с помощью аппаратов АПЭК: Сб. метод. рекомендаций / В.А. Зверев, Ю.Э. Мамедов, С.Ф. Алимова. Томск, 2007. 33 с.

УДК 621.317.799

РАЗРАБОТКА АУДИОМЕТРА, РАБОТАЮЩЕГО НА ПРИНЦИПЕ КОСТНОЙ ПРОВОДИМОСТИ

Р.Ф. Нигматуллин, А.Г. Позин

Предложена методика оценки качества слуха посредством использования портативного аудиометра. Разработан макет портативного аудиометра, предложен простой алгоритм работы этого устройства, повышающий мобильность диагностики слуха при снижении цены аудиометра.

Ключевые слова: аудиометрия, костная проводимость, слух, излучатель вибрации, опытный образец.

В методике оценки качества слуха как современным так и несовременным оборудованием существует некоторая брешь. В настоящее время исследовать слух пациента, поставив довольно точный диагноз, могут только врачи-оториноларингологи. Причиной тому является наличие дорогой стационарной аудиометрической аппаратуры только в диагностических кабинетах ЛОР. Для исследования слуха пациента на месте (не направляя его в диагностический кабинет) оториноларингологи используют набор камертонов, с помощью которых можно зафиксировать слуховую патологию, но поставить точный диагноз без аудиомет-

рии практически невозможно. Исходя из всего этого, в оториноларингологии существует потребность в создании портативного аудиометра, основанного на костной проводимости для оснащения им врачей-оториноларингологов, семейных врачей и терапевтов, с помощью которого можно будет быстро и оперативно поставить диагноз, не оказываясь в зависимости от диагностического кабинета.

Костная звуковая проводимость

Для изучения костной проводимости на височную область устанавливается костный вибратор и снимается зависимость интенсивности звуковой волны (распространяющейся через кости черепа) от частоты [1].

Целью данного измерения является подача звукового сигнала напрямую на внутреннее ухо в обход среднего уха через кость черепа для определения порогов слуховой функции внутреннего уха [2].

Целью нашей работы является разработка портативного аудиометра, основанного на костной проводимости, его испытание в клинических условиях и дальнейшее внедрение.

На рис. 1 показана функциональная схема предложенного портативного аудиометра.

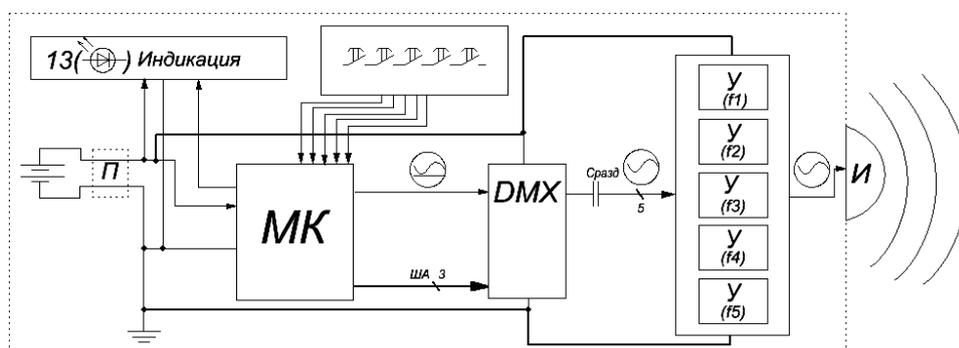


Рис. 1. Функциональная схема аудиометра: *П* – преобразователь напряжения питания; *МК* – микроконтроллер; *У* – усилительный каскад; *И* – излучатель вибрации; *DMX* – демультиплексор; *ША* – шина адреса

Алгоритм работы аудиометра

Алгоритм работы прибора заключается в следующем:

1. Пользователь при помощи кнопок управления выбирает необходимую ему частоту и интенсивность сигнала.
2. Микроконтроллер на встроенном ЦАП выдает синусоидальный сигнал с заданной частотой и неоткалиброванным размахом напряжения.
3. На демультиплексоре сигнал направляется на калибровочные усилители (в зависимости от частоты). Демультиплексором управляет контроллер, задавая необходимый адрес.
4. На калибровочных усилителях реализуется необходимый размах напряжения.
5. Частота и уровень выбранного сигнала отображаются на индикационной панели, состоящей из 13 светодиодов.

Некоторые результаты разработки

Предложенная выше модель аудиометра работает с излучателем вибрации, являющимся катушкой индуктивности, намотанной на магнитострикционный сердечник. Была изучена зависимость относительного уровня вибрации от пода-

ваемого на излучатель напряжения (рис. 2). Основываясь на этих данных, был создан опытный образец прибора.

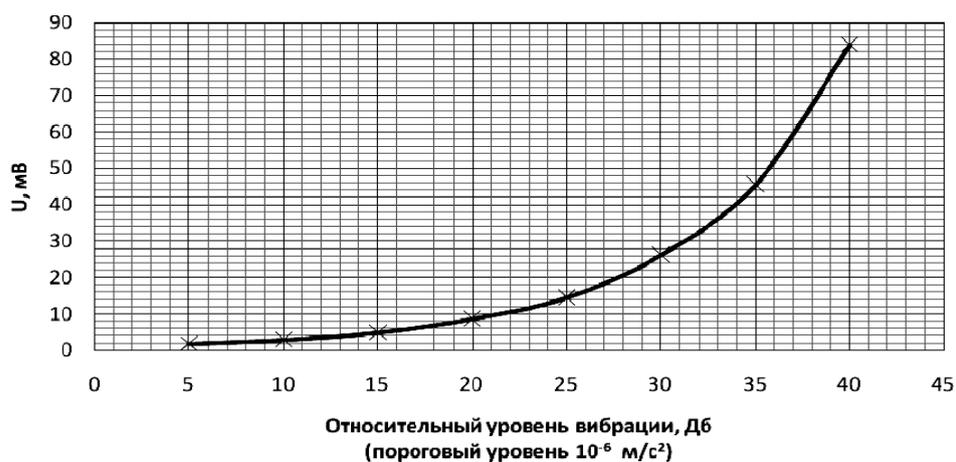


Рис. 2. График зависимости относительного уровня вибрации от напряжения на частоте 500 Гц

Опытный образец аудиометра работает на частотах, соответствующих ГОСТ 27072-86 «Генераторы сигналов диагностические звуковые. Аудиометры. Общие технические требования и методы испытаний» (500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц). Частотный спектр на каждой из приведенных частот имеет нормальное распределение, а амплитуды высших гармоник не достигают 20 % амплитуды основной гармоники. В дальнейшем чистоту спектра можно повысить, заменив излучатель вибрации более совершенным. В качестве контроллера используется недорогой контроллер фирмы Atmel, усилительный каскад собран на ОУ, все это в совокупности с использованием в качестве индикаторов светодиодов делает прибор относительно дешевым и позволит оснастить подобными приборами широкий круг специалистов.

Литература

1. Эфрусси М.М. Слуховые аппараты и аудиометры. М.: Энергия, 1975. 96 с.
2. Кочкин Р.В. Импедансная аудиометрия. М.: МедЛит, 2006. 48 с.

СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМ

А.Н. Розенбаум, А.И. Никитин, А.А. Суполя

Представлены метод и устройство оперативного контроля состояния сердечно-сосудистой системы обслуживающего персонала объектов ответственного назначения. Рассмотренная группа изобретений «Способ неконтактного измерения параметров кровотока, устройство для его осуществления и микроэлектронный магнитный датчик» разрабатывалась в качестве средства получения измерительной информации о текущем функциональном состоянии организма человека. Описанное устройство разработано в Институте автома-

тики и процессов управления ДВО РАН в рамках научных исследований направленных на решение проблем оценки и прогноза состояния человеко-машинных систем.

Ключевые слова: сердечно-сосудистая система, неинвазивный метод, мониторинг, прогноз состояния, человеко-машинная система, микроэлектронный магнитный датчик.

Обеспечение надежности систем ответственного назначения остается актуальной задачей, несмотря на значительный рост автоматизации различных производственных процессов. На современном этапе развития автоматизации очевидным является тот факт, что заменить человека автоматом практически невозможно, целесообразно ставить вопрос об усилении человеческих возможностей с помощью автоматики, в связи с этим сегодня сложные системы должны рассматриваться как человеко-машинные системы (ЧМС). Расчет показателей надежности технической составляющей ЧМС в настоящее время теоретически достаточно обоснован, определение надежности человека-оператора, прогноз его психофизиологического состояния на заданный интервал времени сегодня представляет собой нерешенную задачу. Ясно остается одно – роли технической и человеческой составляющих в системах ответственного назначения должны оцениваться равнозначно.

Авторы настоящей статьи рассматривают человека-оператора и прогноз его состояния на основании двух оценок: психологической и физиологической.

Методика автоматизации процесса диагностики психологического состояния человека в настоящее время находится на стадии разработки в Институте автоматики и процессов управления ДВО РАН. Общий смысл данной методики заключается в автоматизации процесса диагностики состояния глаз человека как по радужной оболочке, так и по сетчатке.

Физиологическое состояние человека предлагается определять на основании анализа вариабельности сердечного ритма, который является интегральным методом оценки состояния организма [1]. Сердечно-сосудистая система рассматривается как комплексная система, обладающая гомеостазом, способная реагировать и адаптироваться к изменениям внешней среды. Ее физиологические показатели отражают состояние организма на определенном временном интервале. Непрерывный и длительный анализ сердечного ритма путем изучения закона распределения кардиоинтервалов (как случайных величин), по мнению авторов данной статьи, является наиболее информативным и неинвазивным методом диагностики функционального состояния оператора ЧМС, позволяющим прогнозировать динамику функциональных изменений в организме.

Однако существующие методы регистрации работы сердечно-сосудистой системы не позволяют в производственных условиях длительно и неконтактно измерять артериальное давление и частоту сердечных сокращений. Известные методы и способы измерения гемодинамических параметров человека предполагают локализацию воздействий внешних дестабилизирующих (механических, акустических, электромагнитных и т.д.) факторов или вмешательство в гемодинамику.

В ходе решения научно-технической задачи разработки средства оперативного контроля физиологического состояния человека-оператора разработан способ неконтактного измерения параметров кровотока с непрерывной круглосуточной регистрацией артериального давления и частоты сердечных сокращений,

физический смысл которого заключается в измерении физической величины – напряженности импульсного магнитного поля создаваемого кровотоком вокруг артерии, и преобразовании ее в электрический сигнал [2].

Особенностью конструкции разрабатываемого средства, позволяющего реализовать указанный способ, должны быть высокая помехоустойчивость к внешним воздействиям, в том числе и к влиянию магнитного поля Земли, и мобильность, т.е. устройство должно стать необременительным в эксплуатации, как, например, элемент форменной одежды. Кроме того, расположение устройства регистрации артериального давления относительно артерии должно быть некритичным во время процедуры измерения, т.е. круглосуточно.

Решение поставленной задачи с учетом установленных ограничений и сложности технической реализации данного способа было найдено путем анализа российских и зарубежных технологий управления магнитными и магниторезистивными свойствами тонкопленочных материалов [3]. Разработанный микроэлектронный магнитный датчик, содержащий тонкопленочные преобразователи различной пространственной структуры для регистрации магнитного поля по оси X и по оси Y , преобразует физическую величину – напряженность магнитного поля, создаваемого кровотоком, в электрический сигнал.

Поскольку в составе сложных человеко-машинных системах может находиться достаточно большое количество операторов (например, на атомной станции), то в ходе разработки средства измерения параметров кровотока была поставлена задача одновременного мониторинга физиологического состояния всего состава дежурной смены (от 1 до 250 человек), при этом передача измерительной информации должна осуществляться в режиме реального времени в Центр управления объектом.

Источником исходной информации запатентованного способа неконтактного измерения параметров кровотока [2] являются сигналы от устройства, регистрирующего пульсовую волну в системе кровообращения человека. Сущность предлагаемого способа пульсометрии заключается в том, что микроэлектронный магнитный датчик устанавливают над артерией, измеряют параметры кровотока, преобразуют их в электросигналы, передают в цифровом виде по радиоканалу на вход ЭВМ для дальнейшей обработки. Датчик устанавливают в непосредственной близости над артерией и измеряют напряженность импульсного магнитного поля, создаваемого кровотоком (рис. 1). С помощью программных средств рассчитывают систолическое и диастолическое давления, причем, систолическое давление соответствует максимальному значению напряженности магнитного поля, создаваемого кровотоком, а диастолическое давление соответствует минимальному значению напряженности магнитного поля. Дополнительно вычисляют частоту сердечных сокращений как функцию от времени между систолами и диастолами. Статистический анализ сердечного ритма, проведенный данным способом, позволяет дать количественно-качественную оценку текущего функционального состояния организма.

Предлагаемый способ оперирует информацией о механической деятельности сердца, в отличие от интервалографии на основе анализа электрического сигнала сердца (ЭКГ). В ряде случаев, как правило, при определенных сердечно-сосудистых заболеваниях частота пульса отличается от частоты электрического возбуждения сердца.

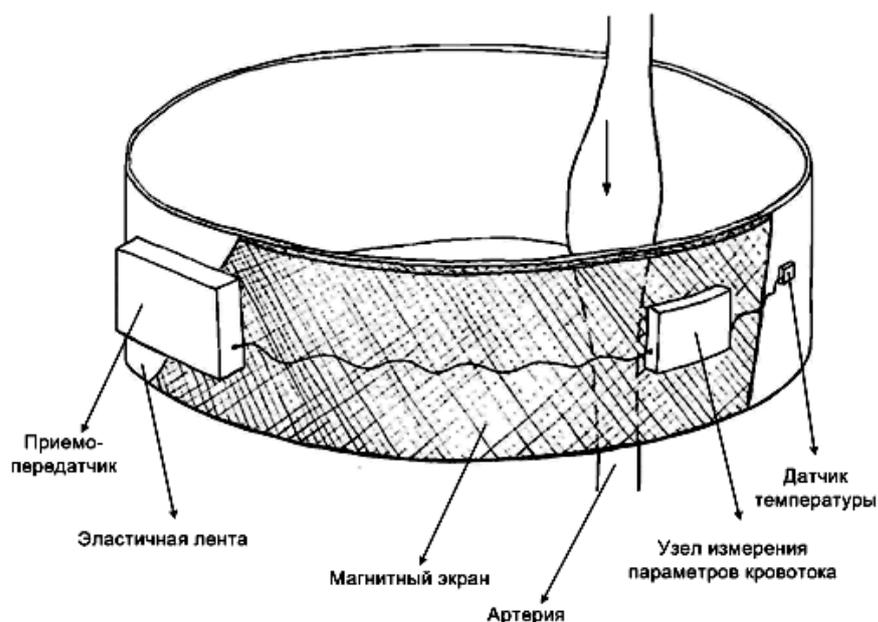


Рис. 1. Внешний вид микроэлектронного магнитного датчика и артерия

В настоящее время проводятся исследования по разработке методик применения запатентованного «прибора медицинского контроля состояния здоровья операторов (экипажей)» в анализе ритма сердца, в том числе с применением статистического, автокорреляционного, спектрального анализов, вариационной пульсометрии и корреляционной ритмографии.

Литература

1. Баевский Р.М. Оценка и прогнозирование состояния здоровья в длительных космических полетах. Современное состояние и перспективы // Клиническая информатика и телемедицина: Научно-методический журнал. Харьков, 2006. Т. 3, вып. 4. С. 47–59.
2. Способ неконтактного измерения параметров кровотока, устройство для его осуществления и микроэлектронный магнитный датчик. Патент на изобретение РФ 2378985 от 20.01.2010 г.
3. Баранчиков М.Л. Микромагнитоэлектроника. М.: ДМК Пресс, 2001. 544 с.

Секция 10

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Председатель – *Кориков Анатолий Михайлович*, зав. каф. АСУ, д.т.н.,
проф.

РАЗРАБОТКА БЕСПРОВОДНОГО ШЛЮЗА В СЕТИ INDUSTRIAL ETHERNET ДЛЯ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИКИ

В.А. Афанасьев, А.Н. Качалов

Рассматриваются современные беспроводные стандарты, вопросы их стандартизации и актуальность разработки беспроводного шлюза поддерживающего их.

Ключевые слова: автоматизация, беспроводные стандарты, сенсорные сети, беспроводный шлюз.

В сфере автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) при построении сенсорных сетей наиболее распространенным интерфейсом в мировой практике остается Industrial Ethernet. Более того, в ближайшие годы прогнозируется увеличение доли рынка, занимаемой Industrial Ethernet в области АСУ ТП, следом за Industrial Ethernet по распространенности будет идти Profibus [1].

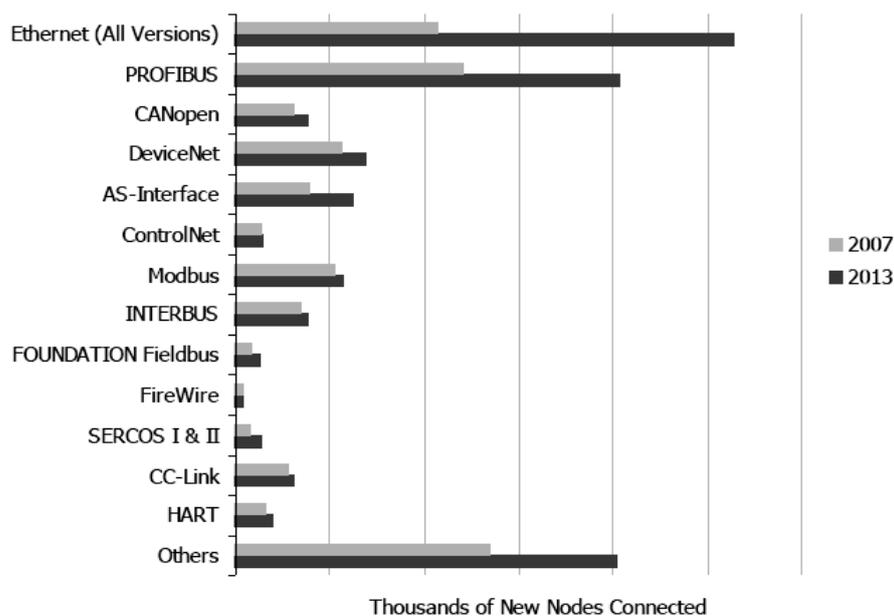


Рис. 1. New Nodes Installed (WW) 2007 & 2013 [1]

Ведущие мировые производители АСУ ТП прогнозируют увеличение спроса на беспроводные системы. И действительно, в последнее время прослеживается тенденция роста объема рынка беспроводных систем в области АСУ ТП [1]. Это связано с преимуществами, которые дает применение подобных систем. В пер-

вую очередь это существенно меньшие затраты на развертывание такой сети на предприятии, т.к. отсутствуют затраты на провода и их прокладку. Беспроводные сети значительно удобнее монтировать в труднодоступных местах. По сути, весь монтаж заключается в установке шлюза и беспроводных датчиков, в свою очередь, это тоже снижает стоимость такой сети.

Беспроводная сеть в отличие от проводной является гибкой, а также ее легче масштабировать. То есть беспроводная сеть позволяет без особых затруднений наращивать количество узлов и протяженность связей в очень широких пределах. А для масштабирования проводной сети приходится применять дополнительное коммуникационное оборудование и специальным образом структурировать сеть. Например, использовать коммутаторы, маршрутизаторы и выстраивать иерархическую структуру связей. Все это наряду с тем, что характеристики беспроводных сетей постепенно улучшаются, а именно растет скорость передачи данных, увеличивается дальность действия, снижается энергопотребление, приводит к росту спроса на них.

Большое влияние на развитие современных АСУ ТП оказывает стандартизация. Насколько успешно будет то или иное устройство, определяет стандарт, согласно которому оно работает. Стандартизация выгодна всем, начиная от производителей электронных компонентов, заканчивая потребителями электронных устройств. Принятие технологии в качестве стандарта приведет к ее широкому распространению, увеличению объема производства и как следствие к снижению цен на готовую продукцию. Многие компании разрабатывают все новые и новые технологии в сфере коммуникации АСУ ТП. Совершенно естественно то, что каждая из этих компаний лоббирует свою технологию в качестве общего стандарта. В таких условиях чтобы технология стала общепризнанным стандартом, стандартизирующая организация должна обладать непререкаемым авторитетом. В настоящее время одну из важнейших ролей в области стандартизации в промышленных коммуникациях играет ISO (International Organization for Standardization) в тесном сотрудничестве с IEC (International Electrotechnical Commission; с англ. Международная электротехническая комиссия, МЭК).

В сентябре 2007 г. был создан союз WCT (Wireless Cooperation Team) из обществ HCF (Hart Communication Foundation), FF (Fieldbus Foundation) и PNO (Profibus & Profinet Organization) с целью создания беспроводной инфраструктуры на полевом уровне АСУ ТП. Организация HCF, входящая в состав союза WCT, разработала стандарт Wireless Hart. И на международной выставке EXPO 2008 в Хьюстоне фирмой Siemens была представлена первая демо-версия проводной сети Hart, подключенной (через ET200) к полевой шине Profibus, и к беспроводной сети на базе стандарта Wireless Hart, подключенной к шине Profinet.

В этом же году союз WCT предложил проект этого стандарта в МЭК на рассмотрение в качестве базового беспроводного стандарта для полевых шин Hart, Fieldbus FF и Profibus. Беспроводного решения Wireless Hart недостаточно на случай использования других сетей промышленной автоматике [3]. Комитет ISA (International Society of Automation) предложил проект нового стандарта ISA 100.11a, данный стандарт предназначен для создания единой беспроводной инфраструктуры на полевом уровне для различных сетей АСУ ТП.

На международной выставке EXPO 2008 в Хьюстоне был представлен первый отладочный комплект производства NIVIS для проектирования беспроводной сети промышленной автоматике на базе стандарта ISA 100. Была продемонстрирована возможность подключения любого проводного оборудования (в том

числе работающего по протоколу Hart) через дополнительные адаптеры. Стандарт ISA 100.11a был издан комитетом ISA 9 сентября 2009 г.

Как ISA 100.11a, так и Wireless Hart поддерживает EDDL (Electronic Device Description Language), для того чтобы обеспечивать совместную работу полевых устройств от разных производителей. Но в ISA 100.11a предусмотрена 128-битная IPv6-адресация полевых устройств, в то время как в WirelessHart не поддерживает IP-адресацию конечных устройств, в нем используется EUI-адресация. Стандарт WirelessHart не предусматривает возможность масштабирования сети, в то время как стандарт ISA 100.11a это позволяет.

Необходимо отметить, что WCT – это союз промышленников, а ISA – это международное общество, работающее совместно с национальным комитетом по стандартизации ANSI, с МЭК и другими организациями [4]. WCT и ISA являются серьезными конкурентами; т.к. WCT является закрытым обществом, то весьма вероятно, что ведущая роль в проектах международных беспроводных стандартов в МЭК будет принадлежать ISA, а не WCT. По состоянию на конец первого полугодия 2010 г. оба проекта находятся на согласовании с МЭК, также рассматривается возможность их конвергенции.

Оба рассмотренных выше стандарта основаны на стандарте IEEE 802.15.4, который определяет физический уровень и управление доступом к среде для беспроводных персональных сетей. Стандарт IEEE 802.15.4 является базовой основой для протоколов WirelessHART, ISA100.11.a, ZigBee, ZigBee PRO и MiWi, каждый из которых имеет свое решение для построения верхних уровней, которые не регламентируются стандартом.

Разрабатываемый шлюз предполагается использовать для управления, диагностики и контроля беспроводных сенсорных сетей, основанных на стандарте ISA 100.11a. На рис. 2 схематично изображена типовая беспроводная сенсорная сеть АСУ ТП.

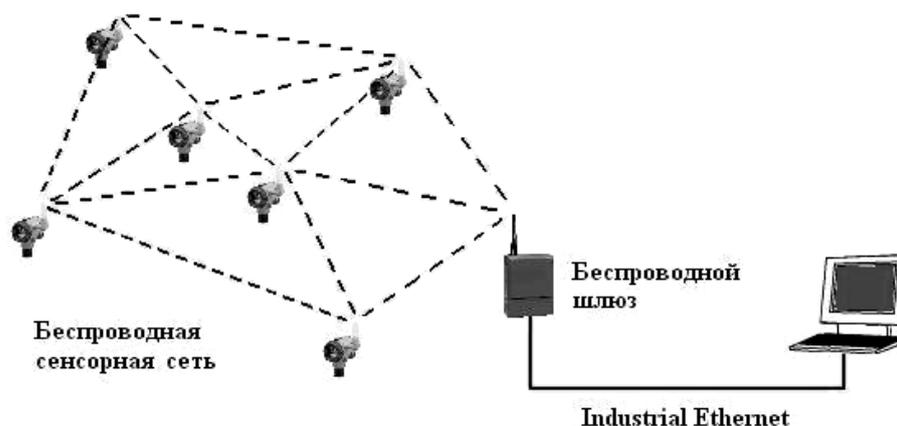


Рис. 2. Беспроводная сеть АСУ

Разрабатываемое устройство на данный момент имеет всего один аналог, это беспроводный шлюз производства Yokogawa Electric Corporation. По заявлениям Yokogawa данный продукт планировалось выпустить на рынок в июле 2010 г.

Предполагается, что разрабатываемый шлюз будет поддерживать несколько интерфейсов Industrial Ethernet, таких как Modbus TCP/IP, Profinet и Ethernet/IP. Это позволит легко интегрировать его в уже имеющиеся на предприятии сети.

Возможно, будет предусмотрено подключение к шлюзу датчиков, работающих по проводным интерфейсам 4–20 мА, HART. Это даст возможность использовать шлюз не только по прямому назначению, но и как беспроводный адаптер ISA 100.11a для подключения проводных полевых устройств к беспроводной сети.

Как уже было отмечено ранее, стандарт ISA 100.11a базируется на IEEE 802.14.5, на нем также базируются WirelessHART, ZigBee и ZigBee PRO; то, что все они базируются на одном стандарте, в будущем позволит расширить возможности шлюза, а именно программно конфигурировать шлюз под один из этих стандартов.

Литература

1. IMS Research Industrial Networking 2009.
2. Гайкович Г.Ф. Стандартизация в области промышленных сетей. Развитие беспроводных стандартов для АСУ ТП // Электронные компоненты. 2009. №1. С. 48–54.
3. ISA/ANSI. Standards and practices Department Procedure [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.isa.org/Content/Microsites165/SP18,_Instrument_Signals_and_Alarms/Home163/ISA_Standards_for_Committee_Use/S_910001.pdf, свободный (дата обращения: 16.07.2010).

ПРОБЛЕМЫ TCP

А.П. Филимонов

Представлено краткое определение протокола TCP/IP, его транспортного уровня TCP и проблемы при эксплуатации TCP.

Ключевые слова: стек TCP/IP, большое RTT, высокопроизводительная сеть.

Как основной протокол Интернета, TCP/IP присутствует во всех современных операционных системах в виде готового к работе «черного ящика». Мы не знаем, насколько хорошо подходит алгоритм и его настройки для работы в конкретной сети. В данной статье представлены основные слабости TCP-протокола.

Протокол TCP

Стек TCP/IP был разработан по инициативе Министерства обороны США (Department of Defence) в конце 80-х гг. прошлого века для связи экспериментальной сети ARPAnet с другими сетями как набор общих протоколов для разнородной вычислительной среды.

Так как стек разработан до появления модели взаимодействия открытых систем ISO/OSI, то соответствие уровней стека TCP/IP уровням модели OSI достаточно условно.

На стеке TCP/IP работает всемирная информационная сеть Internet. Подразделение Internet Engineering Task Force (IETF) изменяет и дополняет стек в форме стандартов RFC [1].

Транспортный уровень модели TCP/IP обеспечивает управление сеансами между компьютерами, определяет уровни служб и состояние подключения. Основные представители транспортного уровня TCP/IP – это UDP и TCP. Протокол TCP (Transmission Control Protocol, RFC-793) применяется в тех случаях, когда требуется гарантированная доставка сообщений. Гарантированность доставки включает две основных задачи: определение достоверности доставки пакетов (их

повторная посылка, при необходимости) и избежание их возможных потерь (в основном, потери при перегрузки сети). Неидеальность современных цифровых технологий, несовершенство самого алгоритма TCP порождают при реализации ряд проблем.

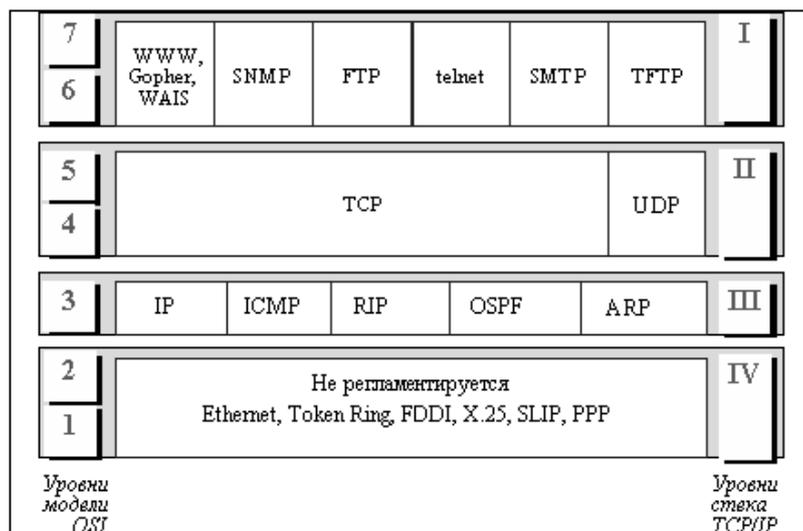


Рис. 1. Стек TCP/IP [1]

Необходимость обеспечения обратной совместимости

Любое изменение TCP-протокола должно обеспечить обратную совместимость, чтобы миллионы «старых» программ могли по-прежнему работать в этой среде. Причем сессии с модернизированных TCP должны уживаться со старыми на всех уровнях протокола TCP/IP. Это в свою очередь предполагает некоторый диалог при установлении виртуального соединения, который бы позволял выяснить, какими версиями TCP обладают будущие партнеры. Совокупность этих соображений удерживала до сих пор интернет-общественность от радикальных модификаций протокола TCP.

Поиски решения оптимизации TCP-каналов можно вести по двум направлениям. Модифицировать сам TCP-протокол, адаптируя его для новых условий и требований, или изменять сетевую среду, делая ее более дружелюбной по отношению к TCP.

За 30-летнюю историю TCP создано более двух десятков алгоритмов. Это Tahoe, Reno, Vegas, Westwood, BI, BIC, CUBIC, Hyble, Veno, Illinois, High Speed, Scalable, NTCP, SACK, RED, WRED, и др. [2].

Сети с большим RTT

Время RTT складывается из задержки распространения электромагнитных волн по каналу, времени пребывания пакетов в очередях и их обработки в сетевых устройствах.

Например, время распространения волны по кабелю длиной 5000 км составляет около 25 мс, задержка в современном маршрутизаторе варьируется от 2 до 20 мс. Число же маршрутизаторов на пути такой длины, как правило, 10–15. Дополнительный вклад в задержку внесут переключатели локальной сети, а также системы отправителя и получателя.

Большие времена RTT сдерживают рост окна перегрузки и приводят к пропорциональному снижению пропускной способности, некорректному перераспределению полосы пропускания между разными соединениями в сетевых устройствах [3].

Показатель коэффициента ошибок (BER) линии связи, соединяющей соседние регенераторные узлы, как правило, пропорционален ее протяженности. Высокое значение BER может привести к порче и потере сегментов. Так как протокол TCP был первоначально создан для противодействия перегрузкам, потери TCP-сегментов, ошибочно приписываемые переполнению буфера, запускают механизмы исключения перегрузки, которые в такой ситуации приносят только вред [4].

Такие проблемы часто возникают при реализации TCP соединений через спутниковые каналы, где RTT может превышать 250 мс, да и BER оставляет желать лучшего. В таких ситуациях время преодоления ситуации перегрузки может занимать много циклов RTT и достигать десятка секунд.

Сложность получения информации о состоянии соединения

Так как использование соединений с большими задержками RTT связано с механизмом адаптации окна, оно в принципе может быть преодолено путем модификации механизма контроля полосы во время фазы избежания перегрузки. Однако невозможно выбрать универсальный временной масштаб для настройки окна, который бы работал для сетей с разной пропускной способностью и топологией.

Например, зондирование дополнительной полосы с темпом 1 Mbps в секунду может быть слишком быстрым для сети с каналом 1 Mbps, но слишком медленным для гигабитной сети. Таким образом, чтобы заставить работать такую схему, некоторый обмен между сетевым и транспортным уровнем был бы крайне существенным. Во-вторых, такая схема будет все же подвержена сильному воздействию некоторых недостатков TCP, таких как деградация рабочих характеристик при наличии случайных потерь и чрезмерных задержек, связанных с попытками использования дополнительной полосы в условиях полного использования канала. Таким образом, эта модификация не может считаться лучшим подходом к поиску решения проблемы оптимальности [2].

Другой возможностью является более изошренная оценка RTT, сходная с тем, что сделано в работе. Это, конечно, привлекательно, так как исключает необходимость явной обратной связи. Однако задержка RTT может меняться существенно без изменения загрузки в канале (например, из-за того, что задержка обработки в узлах зависит от загрузки операционной системы или потому, что задержки связаны с особенностями работы мобильных приложений), тогда адаптация, базирующаяся на обработке задержек, может оказаться менее устойчивой, чем адаптация на основе потерь или явной обратной связи.

Агрессивные соединения

Существуют соединения, которые игнорируют состояние полосы и поднимают скорость передачи до тех пор, пока не заполнят буфер одного из сетевых устройств, что забьет соединения, которые анализируют RTT во избежание перегрузки.

Высокопроизводительные сети

Пропускная способность высокопроизводительной сети определяется уже не его полосой, а задержкой обрабатывающих устройств. Для полного использования полосы необходимо, чтобы большое число пакетов должно быть в пути од-

новременно, т.е. размер окна перегрузки должен быть большим. Для этого необходимо расширить эффективное поле размера окна с 16 до 32 бит (это делается сегодня с привлечением опции TCP). Чтобы не изменять формат TCP-сегментов, можно сделать код размера окна в программе 32-разрядным, сохранив соответствующее поле в сегменте неизменным (см. RFC-2414, -2415) [2].

Увеличение размера окна в свою очередь приводит к проблемам, возникающим при перегрузке. Каноническое поведение протокола TCP в случае потери пакета (это может быть сегмент данных или отклик) заключается в повторной пересылке всех посланных пакетов, начиная с потерянного. Если считать, что о потере пакета отправитель узнает в среднем спустя $RTT/2$, то для рассмотренного выше примера за это время будет передано 2 Мбайт, которые и должны быть переданы повторно. Для 10гигабитного канала этот объем увеличится до 20 Мбайт.

В стандартном TCP, например TCP-Reno, TCP-NewReno и TCP-SACK, окно увеличивается один раз за RTT. Это делает передачу данных в рамках протокола TCP, используемого в большинстве операционных систем, включая Windows и Linux, достаточно вялой, не использующей всю имеющуюся полосу пропускания. Это особенно характерно для коротких сессий, где окно не успевает даже приблизиться к оптимальному значению.

Например, при $RTT = 100$ мс, чтобы увеличить CWND на 50 000 MSS (Maximum Segment Size) потребуется 50 000 RTT, или 5000 с или 1,4 ч. Если сессия завершится раньше, полоса канала будет существенным образом недоиспользована.

Существуют и другие могущие показаться забавными проблемы. Каждый сегмент в TCP-протоколе снабжается 32-битным идентификатором. Время жизни IP-пакета (TTL) определяется по максимуму 255 шагами или 255 с в зависимости от того, что раньше наступит. Труднопредсказуемая ситуация может произойти, когда канал ликвидирован, затем создан снова (для той же комбинации IP-адресов и портов), а какой-то пакет из предшествующей сессии, погуляв по Интернету, придет уже во время следующей. Есть ли гарантия, что он будет верно идентифицирован?

В дальнейшем планируется протестировать стек TCP/IP на аппаратуре Wi-Max, выявить, какие из перечисленных проблем характерны для сети, и найти способы повышения ее производительности.

Литература

1. Наша Библиотека Стек протокола TCP/IP [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.esstel.ru/docs/network/ip/glava_2.htm, свободный.
2. Семенов Ю.А. (ГНИ ИТЭФ). 4.4.3.1 Модели реализации протокола TCP и его перспективы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://book.itep.ru/4/44/tcp.htm>, свободный.
3. Huston G. TCP Performance // The Internet Protocol Journal. Vol. 3, № 2. Cisco Systems, June 2000.
4. Geoff Husston. Future for TCP // The Internet Protocol Journal. Vol. 3, № 3. September 2000.

БЛОК ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА ДЛЯ СИЛОВОГО ГИРОСКОПИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

П.Е. Гавриш

Блок измерения угла (БИУ) предназначен для преобразования угла поворота рамки силового гироскопа в цифровой код. Вместе с датчиком угла БИУ образует систему измерения угла (СИУ). Особенностью данной СИУ является то, что в ней для повышения точности используется датчик с коэффициентом редукции 3:32, показания которого не имеют однозначной связи с углом. Поэтому код истинного угла необходимо вычислять. Научная новизна работы заключается в получении аналитической зависимости для вычисления угла, разработке алгоритма работы микроконтроллера и программы для его осуществления. Результатом работы является реализация цифровой СИУ на основе микроконтроллера, где погрешность БИУ в ходе испытаний составила не более 0,3 угл. мин.

Ключевые слова: система измерения угла, силовой гироскоп, микроконтроллер, следящий преобразователь.

Традиционно управление силовыми гироскопическими комплексами (СГК) реализовывалось применением аналоговых компонентов, однако развитие современных микроконтроллеров и процессоров, расширение их функциональных возможностей при постоянном снижении стоимости формируют устойчивую тенденцию создания систем, использующих частично или полностью цифровые методы управления. Цель данной работы – исследование нового подхода к построению системы измерения угла (СИУ) для СГК и реализация на этой основе цифрового управления космического аппарата (КА).

Блок измерения угла (БИУ) предназначен для преобразования угла поворота рамки силового гироскопа (СГ) в цифровой код. Вместе с датчиком угла (ДУ) БИУ образует систему измерения угла. Особенностью данной СИУ является то, что в ней для повышения точности используется датчик с коэффициентом редукции 3:32, где каждые 120° его выходная амплитуда изменяется на один период по грубому отсчету (ГО) и каждые $11,25^\circ$ на один период по точному (ТО) соответственно. При повороте на 360° число периодов равно передаточному отношению электрической редукции по ГО и ТО. Поэтому код истинного угла необходимо вычислять по определенному предлагаемому алгоритму.

Структурная схема БИУ приведена на рис. 1. БИУ содержит масштабные усилители (МУ), осциллятор (OSC), следящий цифровой преобразователь угла (СЦПУ), микроконтроллер (МК). Кроме этого, схема содержит датчик угла, источник питания (ИП), индикатор кода угла (ИК).

Для работы датчика угла (индукционного редуктосина) на его обмотку возбуждения необходимо подать с выхода осциллятора через МУ напряжение $U_{ов}$. При вращении рамки СГ ДУ фиксирует угол α и преобразует его в аналоговые сигналы (\sin , \cos ГО и ТО), которые доводятся до необходимой амплитуды с помощью МУ. Далее аналоговые сигналы поступают соответственно на СЦПУ ГО, СЦПУ ТО, преобразующие их в цифровой параллельный 16-разрядный код. Цифровой код приходит на МК, который, в свою очередь, по специальному алгоритму высчитывает итоговый код угла α . Код угла подаётся на индикаторную панель, наглядно отображающую угол.

Датчик угла формирует аналоговые сигналы по двум каналам: грубого (ГО) и точного (ТО) отсчетов [1]. Каждые 3 полных угла по ГО или 32 по ТО состав-

ляют полный угол φ (электрический угол α). Для функционирования СЦПУ с осциллятора подаются синхроимпульсы прямоугольной формы (ОС).

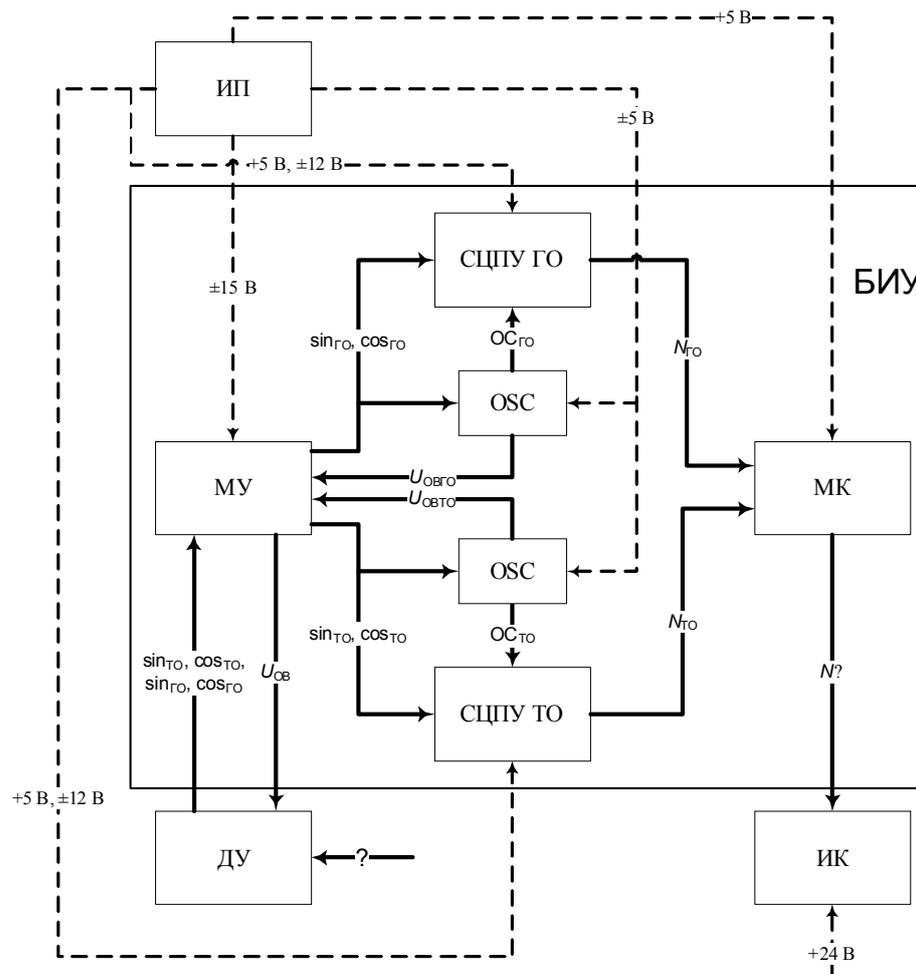


Рис. 1. Структурная схема БИУ: α – угол поворота рамки гироскопа; $U_{об}$ – напряжение обмотки возбуждения; ОС – опорный сигнал; ТО – точный отсчет; ГО – грубый отсчет; N – код угла; N_ϕ – код угла поворота ротора

Микроконтроллер реализует алгоритм, представленный на рис. 2.

В первый момент времени работы программы происходит инициализация портов данных, которая заключается в установлении направленности портов (какие из них будут работать на прием данных, а какие на передачу). Эту функцию переключения направленности выполняют подтягивающие резисторы, находящиеся внутри МК. Следующим этапом идет считывание данных с портов приема данных с их занесением в буферную память программы (присвоение переменных). Так как ATmega64 является 8-разрядным МК, а код угла 16-разрядный, то необходимо произвести объединение старшего и младшего байтов в один бинарный код. Значения кодов углов присваивается переменным A1 и A2. Далее идет условие проверки наличия сигнала запроса, поступающего с бортового вычислительного комплекса (БВК) КА, по наличию которого МК продолжит свой алгоритм, а в отсутствие вернется к этапу считывания данных.

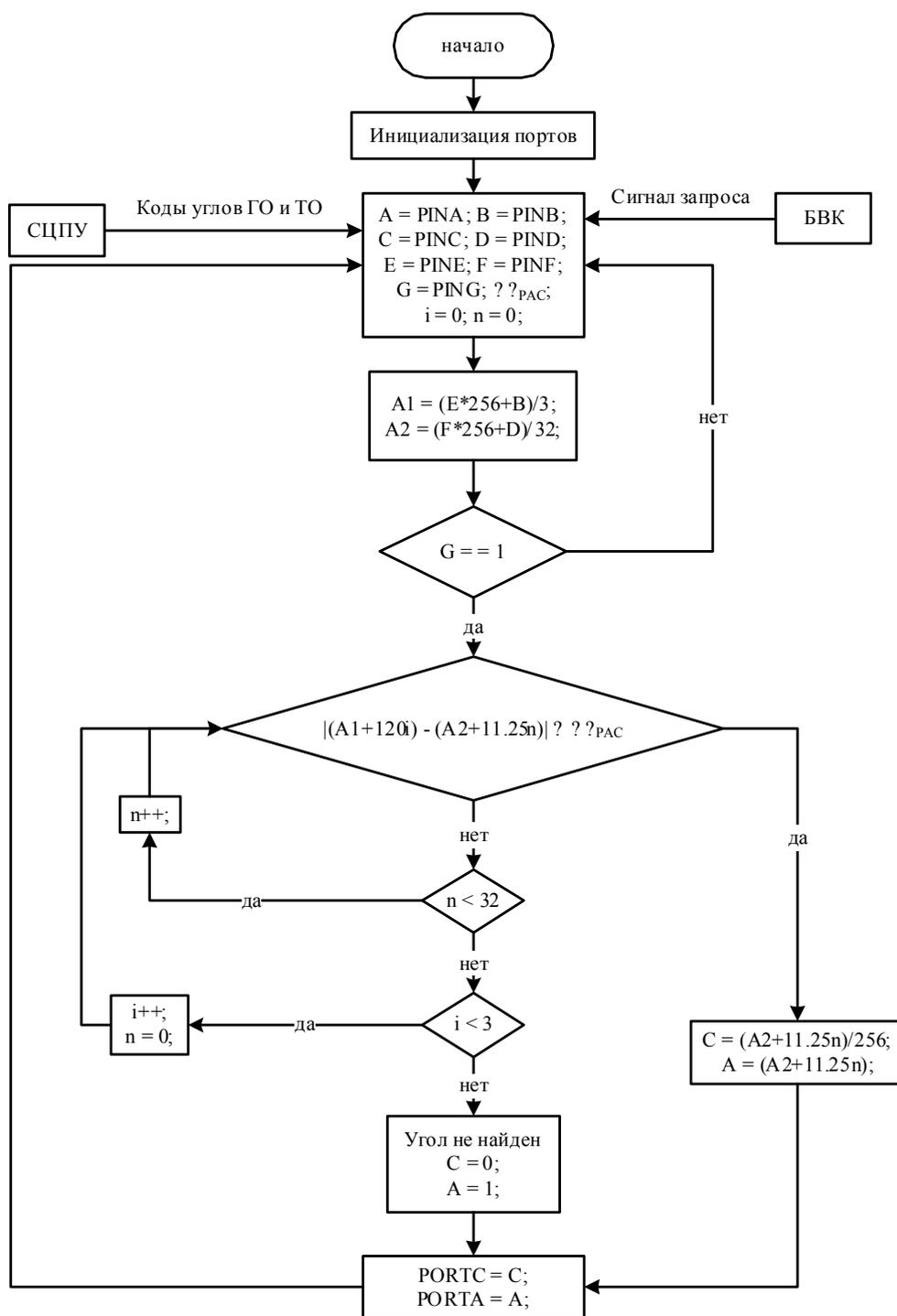


Рис. 2. Алгоритм работы микроконтроллера

Затем идет проверка условия равенства углов по ГО и ТО с учетом их угла расхождения ($\Delta\varphi_{PAC}$), если условие истинно, производится присвоение перемен-

ным портов вывода данных значение этого угла, иначе цикл будет повторяться и подбирать значения $0 < i < 3$ и $0 < n < 32$, при которых условие истинно. Если при всех значениях i и n условие ложно, то на выход МК подаётся специальный код угла, равный е.м.р.

Были проведены испытания макета БИУ с источником калибровочных сигналов, который служит для формирования аналоговых сигналов, имитирующих ДУ. Цель эксперимента заключается в проверке точности измерения угла БИУ в нормальных климатических условиях без влияния погрешности ДУ.

Испытания проводились в интервале $(360 \pm 11,25)$ угл. град, т.к. здесь алгоритм микроконтроллера выполняет максимальное число циклов, что может привести к максимальному значению ошибки.

Для проверки работоспособности БИУ достаточно проверить его работу в интервале $\varphi = (-11,25^\circ \dots +11,25^\circ)$, что соответствует двум периодам ТО. Это вызвано тем, что в соответствии с предлагаемым алгоритмом погрешность БИУ будет определяться только погрешностью точного канала.

Результатом испытаний стала величина ошибки БИУ ($\Delta\varphi$), которая определялась как разница между экспериментальными и теоретическими значениями угла φ .

В итоге разработаны принципиальная схема, схема печатной платы, алгоритм и программа работы МК. Результаты проверки точности измерения подтвердили работоспособность устройства. Из графика погрешности БИУ видно, что ошибка $\Delta\varphi$ при изменяемом угле φ имеет неоднозначный характер, что вызвано погрешностью изготовления источника калибровочных сигналов. По результатам испытаний максимальная погрешность БИУ не превышает 0,3 угл. мин, что соответствует 1/3 от максимальной величины ошибки точного канала датчика угла.

Предложенный БИУ позволяет реализовать систему измерения угла в силовых гироскопических комплексах, используемых в космической технике, которая позволит увеличить точность работы СГК, уменьшить массогабаритные показатели, снизить энергопотребление, а также увеличить быстродействие.

Литература

1. Схемотехника цифровых преобразователей перемещений: Справ. пособие / В.Г. Домрачев, В.Р. Матвеевский, Ю.С. Смирнов. М.: Энерго-атомиздат, 1987. 392 с.

УДК 004.9

ПРОГРАММА ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ С УСТРОЙСТВ ВИДЕОЗАХВАТА

А.В. Афонасенко, Д.В. Кокарев, В.К. Ошлаков, В.Е. Проконьев

Рассмотрен вариант использования и автоматического сбора информации с ССД, веб-камер или других устройств видеозахвата как один из информационных каналов при выполнении эксперимента.

Ключевые слова: ССД-камера, веб-камера, устройства видеозахвата, программа, захват изображения, системы лидарного зондирования.

В задачах мониторинга атмосферы особую роль играют системы лидарного зондирования. В состав этих систем, как правило, входят источники излучения

(лазеры), оптические системы формирования зондирующего пучка и приема обратнорассеянного от объекта исследования сигнала, системы и устройства обеспечения эксперимента [1]. В состав последних нередко вводят системы визуализации – CCD-камеры, веб-камеры и т.п. В Институте оптики атмосферы СО РАН разрабатывается экспериментальный стенд, предназначенный для решения атмосферно-оптических задач – регистрации обратнорассеянного сигнала в экспериментах по зондированию атмосферы с целью определения ее элементного состава, регистрации флуоресценции, связанной с фотосинтезом растений, и др. Четко обрисовалось требование к разработке программного обеспечения, предназначенного для управления комплексом аппаратуры, сбора данных и их систематизации, предварительной обработке и информативного представления как процесса получения данных, так и результатов эксперимента.

Например, при проведении экспериментов по регистрации флуоресценции растений (рис. 1) как в пассивном режиме – регистрация фоновой флуоресценции растений под воздействием солнечного излучения, так и в активном – регистрация лазерно-индуцированной флуоресценции, либо флуоресценции, индуцированной другими источниками, например газоразрядными лампами, используются в качестве регистратора спектра спектрометр HR4000 (Ocean Optics), CCD камера с расширенной до 1,1 мкм полосой чувствительности, измеритель мощности оптического сигнала NOVA II (Ophir). При обработке полученных цветных изображений (RGB) и представления результатов в виде точек на трехкомпонентной диаграмме [2] CCD камера может использоваться и как регистратор в спектрально-зональном смысле. Измеритель оптической мощности используется нами в режиме временной записи как регистратор потока фонового излучения в точке приема информации [3].

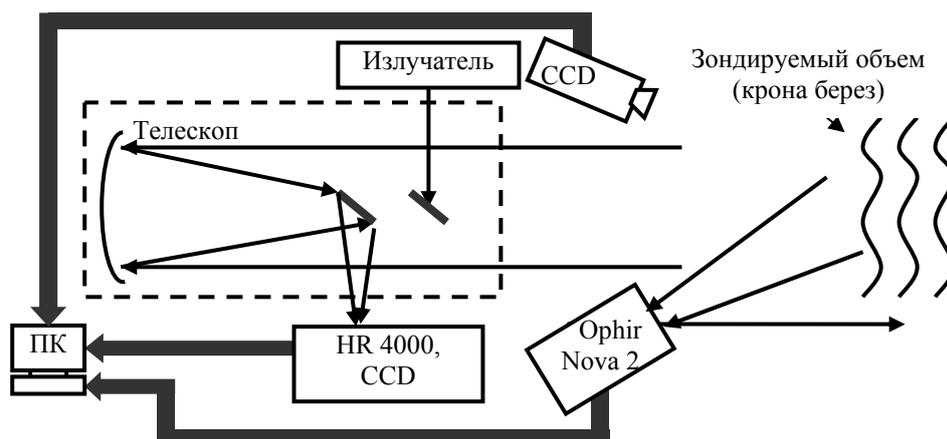


Рис. 1. Оптическая схема экспериментальной установки

Вся регистрируемая информация поступает на персональный компьютер и далее обрабатывается.

Для обработки изображений написана программа, позволяющая преобразовывать как весь кадр, так и выделенные области, точки на линиях разрезов (амплитуды RGB-сигналов) в цветовые координаты трехкомпонентной диаграммы и представлять результаты в виде цветных графиков. Для обработки спектров, полученных в виде массивов последовательных записей полного спектра с заданным временем интеграции и в заданном количестве, написана программа, расши-

ряющая возможности [4], предоставляемые стандартным программным обеспечением Spectra Suite [5]. С обработкой видеоматериала возникают сложности, т.к. из всего видеопотока необходимо выбрать отдельные кадры, которые сделаны в определенный момент времени и соответствуют данным, полученным с других регистрирующих устройств, т.е. решить задачу синхронизации работы отдельных устройств. Для решения этой проблемы в среде программирования Borland Delphi 7 написана программа, которая в автоматическом режиме через определенный интервал времени производит съем изображения с камеры и сохранение его в формате *.bmp. Также создается лог-файл, в котором указываются дата и время начала получения информации, интервал времени, через который происходил съем изображения, и список сохраненных изображений. Для реализации программы использовался пакет компонентов DSPack, позволяющих работать с потоками мультимедиа, в том числе и с устройствами видеозахвата (Web-камера, ТВ-тюнер и т.д.) [6].

Литература

1. Козинцев В.И. Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды: учеб. пособие для вузов / В.И. Козинцев, В.М. Орлов, М.Л. Белов и др.; под ред. В.Н. Рождествина. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 528 с.
2. Быков Р.Е. Анализ и обработка цветных и объемных изображений / Р.Е. Быков, С.Б. Гуревич. М.: Радио и связь, 1984. 248 с.
3. Официальный сайт Ophir Optronics URL: <http://www.ophiropt.com>
4. Афонасенко А.В. Программная система обработки спектров / А.В. Афонасенко, Д.В. Кокарев // Всерос. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых по физике. 12–14 мая 2010 г. Тезисы докладов. Владивосток, 2010. С. 156.
5. Официальный сайт Ocean Optics URL: <http://www.oceanoptics.com>
6. Официальный сайт пакета URL: www.progdigy.com

РЕАЛИЗАЦИЯ ПОДСИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ СТАТИСТИКИ СИТУАЦИОННОГО ЦЕНТРА «ЗДРАВООХРАНЕНИЕ»

Г.Д. Копаница

Рассматриваются вопросы описания требований к системе сбора и обработки данных статистики медицинских учреждений.

Ключевые слова: сбор статистических данных, история болезни, международный классификатор болезней.

Важной задачей ситуационного центра «Здравоохранение» является установление целевых показателей деятельности лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ) и организация сбора отчетных данных по запланированным показателям [1].

Для реализации системы сбора медицинской статистики были поставлены и решены следующие задачи:

1. Моделирование лечебных бизнес-процессов в нотации IDEF0 [2] для выявления этапов формирования первичных данных для расчета показателей и определения деятелей, ответственных за формирования таких данных.

2. Разработка архитектуры информационной системы для автоматизации процесса сбора статистических показателей.

3. Реализация автоматизированной системы сбора данных медицинской статистики.

Задачами системы сбора и обработки медицинской статистики являются:

1. Формирование плановых показателей для организации их сбора из информационных систем лечебных учреждений.

2. Организация сбора первичных данных для расчета целевых показателей эффективности.

3. Формирование отчетности в области здравоохранения на основании первичных данных показателей лечебных учреждений.

Электронная история болезни

В настоящий момент в нашей стране де факто не существует стандарта по хранению и передаче медицинских данных. Несмотря на принятый 1 января 2008 г. «ГОСТ Р 52636-2006 Электронная история болезни. Общие положения» на практике сложилась ситуация, когда каждая клиника разрабатывала, заказывала или покупала и адаптировала собственную «Электронную историю болезни». В результате при наличии общих руководящих документов, общих стандартов и общей подчиненности существующие системы отражают локальное видение проблемы заказчиком (главврачом, директором), его понимание роли компьютерных технологий (как правило, на уровне обывателя) и умение программистов того или иного уровня квалификации отобразить данное видение в конечном продукте.

В данной работе было предложено обратиться к стандартам электронной истории болезни, для которых имеется опыт [3] реализации и внедрения медицинских информационных систем (МИС). Таким стандартом является ISO 13606 [4].

Описание предметной области

В ходе исследования модели бизнес-процесса «Амбулаторное лечение» было выявлено, что большинство первичных данных формируются на этапе «Получение лечебно-диагностических услуг». При этом в настоящее время данные талона амбулаторного пациента (ТАП) обрабатываются отделами статистики ЛПУ после сдачи его врачом. Такой порядок замедляет поступление данных в органы управления здравоохранением. Для оптимизации процесса может быть предложен Web-сервис [6], который бы передавал первичные данные ТАП в ситуационный центр для предотвращения задержки поступления данных. На основе подобных сервисов может быть реализована Web-сервис-ориентированная архитектура системы сбора и анализа медицинских данных.

Web-сервис-ориентированная архитектура ситуационного центра позволит отслеживать ключевые показатели эффективности в режиме реального времени. Например, для установления количества обратившихся за медицинской помощью во время сезонной эпидемии гриппа необходимо получить код диагноза из справочника международного классификатора болезней (МКБ-10), который врач выставляет в ТАП.

Архитектура системы

За основу системы была взята модель данных, заложенная в стандарте ISO 13606 [5], что в дальнейшем облегчит подключение к системе новых ЛПУ.

Для хранения данных была спроектирована XML-структура и утилита, работающая на стороне сервера для обеспечения совместимости данных различного формата. На стороне ЛПУ предусмотрены Web-сервисы поставщики данных.

Реализация системы сбора и обработки статистических данных

Для реализации описанной выше концепции была разработана информационная система «Статистика», работающая по технологии ADO.NET. Система состоит из двух основных модулей и обслуживающих подсистем. Основные модули представлены серверным приложением, обеспечивающим хранение, передачу и совместимость данных, и Web-сервисами, функционирующими в рамках медицинских информационных систем ЛПУ. Web-сервисы позволяют производить их удаленное перепрограммирование и настройку для соответствия текущим потребностям ситуационного центра и структуре базы данных медицинской информационной системы ЛПУ.

Серверное приложение предоставляет пользователю следующие функции:

1. Настройка подключения к Web-сервисам ЛПУ.
2. Интерфейс для внесения изменений в алгоритм и источники данных для сбора отчетных показателей.
3. Настройка периодичности сбора для различных показателей и различных групп ЛПУ.

Система планирования и учета взаимодействует с системой анализа и прогнозирования показателей. В дальнейшем будет рассмотрена возможность анализа и прогнозирования отчетных данных в соответствии с потребностями ситуационного центра «Здравоохранение».

Для пользователя данные доступны как в табличном, так и в графическом представлении.

Заключение

В статье были представлены результаты работы по планированию и разработке системы сбора медицинской статистики ситуационного центра «Здравоохранение». Данная система позволит значительно сократить время получения информации органами управления здравоохранением. Также представлены перспективы развития системы и ситуационного центра в целом.

Литература

1. Пономарев А.А., Нгуен Хонг Нам. Использование нормативно-справочной информации (НСИ) при проектировании систем медицинского электронного документооборота. Сборник трудов XV Междунар. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых. Современная техника и технологии. Томский политехнический университет, 4–8 мая 2009 г. Томск: 2009.
2. Ponomarev A.A., Nguyen Hoang Trin. BUSINESS PROCESS DESCRIPTION USING BPMN AND BEPEOPLE // Сборник трудов XV Междунар. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых. Современная техника и технологии. Томский политехнический университет, 4–8 мая 2009 г. Томск: 2009.
3. Leslie H. International developments in open EHR archetypes and templates, HEALTH INFORMATION MANAGEMENT JOURNAL. 2008. Vol. 37. № 1.
4. Vegoyan A. An overview of interoperability standards for electronic health records. Paper presented at the 10th World Conference on integrated design and process technology. IDPT-2007. Society for Design and Process Science. Antalya, Turkey, June 3–8.
5. Thomas Beale. Archetypes: Constraint-based Domain Models for Future-proof Information Systems. Deep Thought Informatics Pty, Ltd Mooloolah, Qld, Australia, 2002.
6. Johannes Bott O. The Electronic Health Record: Standardization and Implementation.

**БАЛАНСИРОВКА НАГРУЗКИ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ
С СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННОЙ АРХИТЕКТУРОЙ**

С.В. Корытников

Исследована эффективность существующих алгоритмов в условиях системы с сервис-ориентированной архитектурой.

Ключевые слова: адгоритм, сервис-ориентированная архитектура, вычислительные системы.

Необходимость в разработке определенных алгоритмов и подходов для организации эффективной (с точки зрения пропускной способности системы) и/или максимальной (с точки зрения максимального использования вычислительных ресурсов) загрузки многопроцессорных вычислительных комплексов (МВК) возникла с момента их возникновения. Первые алгоритмы разрабатывались непосредственно для регулирования использования основополагающих критических вычислительных ресурсов (память, процессор) на уровне операционных систем на базе простейших ЭВМ посредством различных механизмов диспетчеризации/планирования (scheduling). С течением времени, в результате прогрессирования аппаратных технологий и программного обеспечения, реализующего алгоритмы балансировки, были отработаны и предложены эффективные и адекватные (с точки зрения, фактического прироста производительности) инструментари для балансировки нагрузки процессорных мощностей и конкурентного использования (разделения) оперативной памяти. Кроме того, существует множество алгоритмов, учитывающих архитектурные особенности как аппаратуры, так и программного обеспечения, использующего различные модели программирования (например, модели с общей/раздельной памятью).

Современное состояние МВК таково, что в конечном счете рядовой пользователь или разработчик сталкивается с проблемой осмысления всей структуры и модели, поскольку система расширяется до огромных размеров. Ярким примером являются вычислительные системы, построенные с использованием инструментария Grid. Поскольку такая технология подразумевает объединение в единое информационно-вычислительное пространство произвольное множество гетерогенных и пространственно-распределенных вычислительных узлов, находящихся в различных административных доменах, со своей локальной политикой безопасности, то возникает необходимость в абстрагировании от конкретных реализаций и переходе к виртуальным представлениям вычислительных элементов системы. Таким образом, на первый план выходит понятие виртуализации, которое является ключевым и диктует специфические тенденции развития высокопроизводительных систем в настоящее время.

Успешно в этом направлении развивается операционная система Linux в совокупности с программными продуктами, реализующими виртуализацию на уровне операционной системы. Например, существует технология виртуализации OpenVZ на базе ядра ОС Linux, которая предоставляет высокую производительность, масштабируемость и динамическое управление ресурсами.

В системе, где исполняемые задачи не привязаны к архитектурной реализации системы, возникают более «размытые» понятия – «процесс», «задача», которые способны мигрировать с одного физического вычислительного узла на дру-

гой. Поэтому следующей ступенью в развитии балансировки нагрузки использования процессорного времени и оперативной памяти стали алгоритмы, активно использующие виртуализацию и обеспечивающие более эффективное использование ресурсов (процессор, память) посредством миграции процессов и задач. Так, например, исследователями Harchol-Balter и Downey была разработана политика миграции вытесняемых процессов [1], которая показала свою эффективность над политикой невытесняемых процессов и решила проблемы балансировки нагрузки процессора. Zhang предложил другую модель разделения нагрузки процессора и оперативной памяти [2], использующую политики миграции процессов между узлами.

Однако несмотря на то, что в некоторой степени, удалось решить проблему балансировки нагрузки процессора и использования оперативной памяти, параллельно возникли вопросы для балансировки нагрузки на внешние носители информации (устройства ввода/вывода, всевозможные хранилища данных) и на сетевые каналы передачи данных между вычислительными узлами. Поэтому в дополнение к существующим способам балансировки нагрузки, Xiao Qin была предложена эффективная модель промежуточного программного обеспечения для балансировки нагрузки [3] устройств ввода/вывода и сети (как некой шины, для передачи данных между вычислительными узлами вычислительного кластера). Таким образом, в настоящее время мировое научное сообщество выделяет 4 типа ресурсов, для эффективного использования которых требуются соответствующие алгоритмы: процессор, оперативная память, устройства ввода/вывода и устройства передачи данных.

Возвращаясь к проблемам виртуализации и желания людей как конечных пользователей вычислительных ресурсов не вникать в особенности той или иной архитектуры, отметим, что в настоящее время становится выгодным создавать системы, предоставляющие «нечто» целостное и законченное в функциональном смысле. Под таким «нечто» можно подразумевать, например, определенное файловое хранилище, ресурсы базы данных, вычислительные мощности, позволяющие делать просчет видеоизображений (rendering). Другими словами, такие системы предоставляют некоторые законченные самодостаточные сервисы, а пользователю как клиенту такой системы остается лишь использовать предоставленные сервисы (в рамках квоты на вычислительные ресурсы) без необходимости понимания особенности алгоритма и самой системы. Такие высокопроизводительные системы строятся на базе сервис-ориентированной архитектуры (SOA) [4].

Основной проблемой, которая нас заинтересовала, является невозможность использования разработанных алгоритмов балансировки нагрузки в аспектах SOA. Речь идет не о невозможности применения таких алгоритмов для организации низкоуровневого управления нагрузкой на процессоры, память или устройства ввода/вывода, а о рассмотрении системы с сервис-ориентированной архитектурой как системы, предоставляющей своевременно те или иные сервисы огромной очереди клиентов. Несомненно, разработанные принципы балансировки, ставшие классическими, должны быть использованы в любой многопроцессорной системе. Однако с точки зрения пропускной способности системы как системы массового обслуживания требуются новые модели и алгоритмы управления, когда базовыми составляющими системы являются не процесс или задача, а сервисы.

На начальном этапе исследований мы выделили тот факт, что в настоящее время уже не актуально рассматривать только 4 типа ресурсов, требующих ба-

лансировки нагрузки: процессор, оперативная память, устройства хранения информации, сетевые каналы передачи данных. Например, сегодня активно используются графические процессоры для высокопроизводительных вычислений. Благодаря виртуализации можно инкапсулировать такой тип ресурсов внутри вычислительной системы, предоставив соответствующие сервисы; в результате пользователь системы может даже и не знать, какое оборудование используется. В связи с тем, что система может наполняться всевозможным «экзотическим» аппаратным обеспечением, мы предложили классифицировать все ресурсы по признакам все тех же общепринятых 4 критических типов ресурсов в распределенной системе, но с введением иерархии наследования основных признаков.

Одновременно с этим появилась необходимость выделить группы однотипных сервисов и представить их в виде некоторой иерархии. Очень удачным в данном случае было бы сравнение сервиса в SOA с понятием объекта в концепции объектно-ориентированного программирования, где существуют механизмы наследования. Если обратиться к самым низам построения информационно-вычислительных систем, то, например, та же операционная система предоставляет сервисы (набор API) приложениям для работы с файловой системой, сетевым окружением и т.д. Далее, прикладные программы и программы ОС также могут предоставлять более высокоуровневые сервисы либо пользователю напрямую, либо другим приложениям. Такой взгляд позволяет неограниченно расширять наборы сервисов, базирующихся на других низкоуровневых сервисах и предоставляющих новую функциональность. В пределах конкретной предметной области, на решение проблем которой будут создаваться те или иные сервисы, обязательно возникнет необходимость в иерархичной организации сервисов, с точки зрения базовой и расширенной функциональности родительского и дочернего сервиса соответственно.

Мы поставили цель исследовать эффективность существующих алгоритмов в условиях системы с сервис-ориентированной архитектурой и разработать новый, более эффективный алгоритм, который:

- 1) учитывает иерархичность вычислительных ресурсов;
- 2) учитывает иерархичность сервисов;
- 3) не исключает использование существующих техник балансировки нагрузки на низких уровнях организации системы, но также дополняет систему дополнительной функциональностью на высоком уровне для более эффективного использования вычислительных мощностей.

Литература

1. Harchol-Balter M. Exploiting Process Lifetime Distributions for Dynamic Load Balancing / M. Harchol-Balter, A.B. Downey // ACM Trans. Computer Systems. 1997. Vol. 15, №3. P. 253–285
2. Zhang X.-D. Improving Distributed Workload Performance by Sharing Both CPU and Memory Resources / X.-D. Zhang, L. Xiao, Y.-X. Qu // Proc. 20th Int'l Conf. Distributed Computing Systems (ICDCS '00). 2000. P. 233–241.
3. Qin X. Communication-Aware Load Balancing for Parallel Applications on Clusters / X. Qin, H. Jiang, A. Manzanares, X. Ruan, S. Yin // IEEE Transactions on computers. 2010. Vol. 59, №1. P. 42–52.
4. Сервис-ориентированная архитектура. Википедия, свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Сервис-ориентированная_архитектура, свободный (дата обращения: 30.07.2010).

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД КАБЕЛЕСБОРОЧНОГО МЕХАНИЗМА С ООС ПО УСИЛИЮ НАТЯЖЕНИЯ КАБЕЛЯ ЛИНИИ ПИТАНИЯ НАПОЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

В.В. Котенев

Рассмотрен синтез и анализ системы автоматического управления натяжением промежуточной линии питания безаккумуляторного транспортного средства с отрицательной обратной связью (ООС) по усилию натяжения. Показано, что максимальное отклонение натяжения в переходном процессе в системе с оптимальными параметрами ПИД-регулятора не превышает 0,2 Н и ее величина не зависит от длины линии питания.

Ключевые слова: электропривод, натяжение, обратная связь, кабель, транспортное средство, модель, переходные характеристики.

Погрузочно-разгрузочные работы по перемещению грузов, выполняемые на складах и цехах многих предприятий, производятся напольными транспортными средствами, питающимися от автономных источников (двигателей внутреннего сгорания или аккумуляторных батарей) либо через подвесную линию и механизм смотки-намотки кабеля от промышленной электрической сети. Эффективность работы транспорта второго типа в значительной степени определяется динамическими характеристиками системы управления электропривода натяжения питающего кабеля [1].

Натяжение кабеля в существующих системах производится с помощью пружинного привода или асинхронного электропривода с резисторами в обмотках ротора. Основной их недостаток – малый срок службы кабеля и ограниченность скорости передвижения транспортного средства. Некоторое улучшение ресурсных характеристик дает применение для натяжения кабеля электропривода постоянного тока с ООС по току якоря [2]. К его недостаткам можно отнести повышенную колебательность механизма натяжения.

С целью исключения колебательности в данной работе предлагается построение системы управления электроприводом натяжения с ООС по усилию натяжения.

Операторные уравнения системы управления электроприводом натяжения с обратными связями по току якоря и усилию натяжения представлены следующей системой:

$$\begin{aligned} \Delta U_{зт}(p) &= W_{рн}(p)(\Delta U_{зн}(p) - k_{он}\Delta F_2(p)); \\ \Delta E(p) &= \frac{k_{п}W_{рт}(p)}{T_{\mu}p+1}(\Delta U_{зт}(p) - k_{от}\Delta I_{я}(p)); \\ \Delta I_{я}(p) &= \frac{1}{R_{я}(T_{\varepsilon}p+1)}(\Delta E(p) - c_{\varepsilon}\Phi\Delta\omega(p)); \\ \Delta\omega(p) &= \frac{1}{Jp}(c_{м}\Phi\Delta I_{я}(p) - R_{\varepsilon}\Delta F_1(p)); \\ \Delta F_1(p) &= \frac{c_{к}(T_2p+1)}{p}(R_{\varepsilon}\Delta\omega(p) - \Delta V_{п}(p) - \Delta V_{т}(p)); \end{aligned}$$

$$\Delta V_{\text{п}}(p) = \frac{1}{mp} (\Delta F_1(p) - \Delta F_2(p));$$

$$\Delta F_2(p) = \frac{c_{\text{п}}(T_4 p + 1)}{p} \Delta V_{\text{п}}(p),$$

где $\Delta U_{\text{зт}}(p)$, $\Delta U_{\text{зн}}(p)$ – сигналы задания тока и натяжения; $\Delta E(p)$, $\Delta I_{\text{я}}(p)$ – ЭДС тиристорного преобразователя и ток якоря двигателя с независимым возбуждением; $c_{\text{е}}$, $c_{\text{м}}$ – конструктивные постоянные двигателя; J – момент инерции электропривода; $T_{\text{ц}}$ – постоянная времени преобразователя; $T_{\text{э}}$ – электромагнитная постоянная времени двигателя; $\Delta W_{\text{рт}}(p)$, $\Delta W_{\text{рн}}(p)$ – передаточные функции регуляторов тока и натяжения; $k_{\text{п}}$, $k_{\text{от}}$, $k_{\text{он}}$ – передаточные коэффициенты преобразователя и цепей обратных связей по току якоря и усилию натяжения; Φ , $\Delta\omega(p)$ – магнитный поток и скорость двигателя; $\Delta F_1(p)$, $\Delta F_2(p)$ – упругие силы в начале и конце промежуточного кабеля; T_2 , T_4 – постоянные времени упругих звеньев; $c_{\text{к}}$, $c_{\text{п}}$ – жесткость промежуточной и подвесной линий питания; m – масса движущихся элементов подвесной линии; $R_{\text{я}}$ – сопротивление якорной цепи; $R_{\text{б}}$ – радиус барабана; $\Delta V_{\text{п}}(p)$, $\Delta V_{\text{т}}(p)$ – скорость перемещения подвесной линии и скорость транспортного средства; p – оператор Лапласа; Δ – приращение соответствующих величин.

Параметры пропорционально-интегрального регулятора тока с передаточной функцией $\Delta W_{\text{рт}}(p)$ получены из условия стандартной настройки контура по условиям модульного оптимума.

Параметры пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора ($k_{\text{рт}}, T_{\text{р1}}, T_{\text{р2}}$) получены из решения минимаксной задачи

$$\Delta F_2(k_{\text{рт}}^*, T_{\text{р1}}^*, T_{\text{р2}}^*, t_{\text{м}}) = \min_{t_{\text{м}} > 0} (\max \Delta F_2(k_{\text{рт}}, t_{\text{р1}}, t_{\text{р2}}, t_{\text{м}}))$$

при соблюдении ограничения на величину запаса устойчивости по фазе $|\Delta\phi| \geq 45^\circ$.

Время достижения функцией $\Delta F_2(t)$ максимального значения при разгоне транспортного средства обозначено буквой $t_{\text{м}}$. Значения оптимальных параметров получились равными $k_{\text{рт}}^* = 1,0$ с, $T_{\text{р1}}^* = 0,1$ с, $T_{\text{р2}}^* = 0,032$ с.

Падение усилия при разгоне транспортного средства составляет незначительную величину, равную 0,2 Н, и оно не зависит от изменяющейся длины промежуточной линии питания. Запас устойчивости по фазе при этом изменяется не более чем на 8° .

Литература

1. Патент 2185296 RU, МКИ В 60 L 9/00. Устройство для электроснабжения и управления безрельсовым транспортным средством / В.И. Котенев, А.В. Котенев и др. № 2000131771/28; заявлено 18.12.2000. Опубл. 20.07.2002. Бюл. № 20.

2. Котенев В.И., Котенев А.В. Автоматизированный электропривод кабелесборочного механизма с ООС по току якоря системы электроснабжения безаккумуляторного электропогрузчика // Вестник СамГТУ. Сер. Технические науки. Вып. 37. Самара: Самарский гос. технический университет, 2005. С. 134–140.

УДК 681.5.015.22

**ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНИЗМА НАТЯЖЕНИЯ
ПРИ ПЕРЕМАТЫВАНИИ И ТРАНСПОРТИРОВАНИИ**

В.В. Котенев, В.А. Жуников, В.И. Котенев, С.В. Серюгин

Рассматриваются динамические характеристики различных механизмов натяжения при перематывании и транспортировании материалов. Предложена единая методика составления математических моделей механизмов с упругостями трансмиссий и механизмов с упругостями транспортируемых материалов.

Ключевые слова: механизм, натяжение, материал, математическая модель, динамика, динамическая характеристика.

Все механизмы натяжения подразделяются на два вида [1]. К первому виду относятся механизмы с трансмиссионной упругостью, а ко второму – механизмы натяжения перематываемых и транспортируемых материалов. Причем методика составления математических моделей этих механизмов как объектов управления разная.

Модели механизмов первого вида построены на основе уравнений Лагранжа с определением жесткости и коэффициентов вязкого трения их элементов. А модели механизмов второго вида построены на основе уравнения Файнберга, полученного при рассмотрении процесса деформации прокатываемых материалов. В этих моделях зависимость усилия натяжения $\Delta F(p)$ от скорости тянущего механизма $\Delta V_1(p)$ и скорости базового механизма $\Delta V_2(p)$ имеет вид

$$\Delta F(p) = \frac{k_0}{T_0 p + 1} (\Delta V_1(p) + \Delta V_2(p)). \quad (1)$$

Коэффициент передачи $k_0 = QE/V_1$ и постоянная времени $T_0 = l/V_1$ (l – расстояние между тянущими валками; Q, E – площадь поперечного сечения и модуль упругости обрабатываемого материала) в такой модели имеют обратно пропорциональную зависимость от скорости V_1 .

Эта модель характеризуется удовлетворительной погрешностью при работе установки на больших скоростях и недопустимо большой погрешностью при работе на малых скоростях, так как значения k_0 и T_0 с уменьшением скорости до нуля увеличиваются до бесконечности.

В данной работе также предлагается при математическом моделировании механизмов второго вида использовать уравнения Лагранжа с определением жесткости (отношение усилия натяжения к удлинению материала) и коэффициентов вязкого трения их элементов.

Уравнения для линейных скоростей валков тянущего и базового механизма [2], а также упругой силы движущейся полосы представлены следующей системой:

$$\begin{aligned}\Delta V_1(p) &= \frac{R_1}{J_1 p} (\Delta M_1(p) - R_1 \Delta F_1(p)); \\ \Delta V_2(p) &= \frac{R_2}{J_2 p} (\Delta M_2(p) - R_2 \Delta F_2(p)); \\ \Delta F_1(p) &= \frac{c(T_0 p + 1)}{p} \Delta V_1(p); \\ \Delta F_2(p) &= \frac{c(T_0 p + 1)}{p} \Delta V_2(p); \\ \Delta F(p) &= \Delta F_1(p) + \Delta F_2(p).\end{aligned}\quad (2)$$

В данной модели жесткость $c = \Delta F / \Delta l$ и постоянная времени $T_0 = \beta / c$ не зависят от скорости V_1 , а приращение удлинения материала Δl пропорционально приложенному усилию ΔF .

Зависимость упругой силы от приложенного момента при равенстве радиусов валков $R_1 = R_2 = R$ и равенстве моментов инерции $J_1 = J_2 = J$ при одном заторможенном валке ($V_1 = 0$) представлена соотношением, которое получено из (2):

$$\Delta F(p) = \frac{k_1(T_0 p + 1)}{T_1^2 p^2 + 2\varepsilon T_1 p + 1} \Delta M_i(p), \quad i=1, 2,$$

где $k_1 = \frac{1}{2R}$; $T_1 = \frac{j}{2cR^2}$; $\varepsilon = \frac{T_0}{\sqrt{2}T_1}$.

Значения постоянных времени T_1 , T_0 не превышают десятых долей секунды и не зависят от скорости V_1 , коэффициент демпфирования у таких механизмов (определяется экспериментально) составляет $0,05 \leq \varepsilon \leq 0,3$.

В альтернативном варианте [2]

$$\Delta F(p) = \frac{k_1}{T_2^2 p^2 + T_3 p + 1} \Delta M_i(p), \quad i=1, 2, \quad (3)$$

где $T_2^2 = \frac{Jl}{QE}$; $T_3 = \frac{l}{2V_1}$.

Из анализа полученных соотношений следует, что при скорости $V_1 \rightarrow 0$ постоянная времени $T_3 \rightarrow \infty$, а постоянная времени T_2 не зависит от скорости и равна какому-то конечному значению. Поэтому при скачкообразном изменении момента ΔM_1 или ΔM_2 упругая сила ΔF будет изменяться по аperiодической зависимости с постоянной времени, близкой к бесконечности, что не соответствует действительности.

Выводы. Предложена математическая модель натяжения перематываемых и транспортируемых материалов, параметры которой не зависят от скорости движения, а её реакция на входные воздействия длится не более нескольких секунд.

Литература

1. Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г. Тиристорные системы электропривода с упругими связями. Л.: Энергия. Ленингр. отд-е. 1979. 160 с.
2. Лимонов Л.Г. Передаточная функция полосы при регулировании натяжения или удлинения на линиях обработки стальной ленты // Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок. М.: Энергия, 1972. №5. С. 8–11.

УДК 004.932.2

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ГОЛОВЫ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ КОМПЬЮТЕРА НА ВИДЕОКАДРАХ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КУРСОРОМ

О.А. Кривцов, А.М. Кориков

Предлагается бизнес-идея позиционирования курсора на экране компьютера на основе отслеживания ориентации головы на видеокдрах, поступающих с веб-камеры. Рассматривается план реализации бизнес-идеи.

Ключевые слова: человеко-машинное взаимодействие, курсор мыши, управление, отслеживание головы, анализ, видеосъемка, пользователь.

Для управления курсором на экране персонального компьютера (ПК) используется манипулятор «мышь», который приводится в действие движением рук пользователя. Все большее распространение получают ноутбуки со встроенными в них веб-камерами. В связи с этим актуальной представляется бизнес-идея управления курсором мыши путем анализа движений головы пользователя по видеосъемке.

Существующие аналоги

Существует ряд работ, посвященных проблеме инновационных методов человеко-машинного взаимодействия с помощью анализа изображения пользователя на видеокдрах. В. Вежнев и др. [1] делают попытку скомбинировать детектор лица с 2D трекером, основанным на цветовой информации, для определения ориентации лица в пространстве. Д. Городничий и др. [2] производят отслеживание положения носа на видеокдре. Как утверждают авторы указанных работ, эти подходы обеспечивают достаточную точность для того, чтобы использовать их в качестве средства управления курсором мыши. А в программе Track! Camera Mouse, доступной по адресу <http://www.oatsoft.org/Forge/project-pages/track-camera-mouse>, для управления курсором мыши используются распознавание и отслеживание особых точек лица.

Управление курсором мыши (УКМ) движениями головы

Наша бизнес-идея заключается в том, чтобы управлять курсором мыши движениями головы в целом. Для обзора всего монитора пользователю обычно бывает недостаточно лишь движения глаз, а требуется и вращение головой. Поэтому можно использовать анализ ориентации головы в пространстве для управления курсором. В работах [3, 4] предложены методы для отслеживания (трекинга) положения головы пользователя в трехмерном пространстве, основанные на сопоставлении проекции модели головы и видеокдра. В качестве модели головы используется трехмерная поверхность, покрытая текстурой, например цилиндр. На первом кадре требуется задать параметры модели, такие как размер и поло-

жение в пространстве (инициализация модели). Оценка перемещения головы между соседними кадрами производится с использованием методов нелинейной оптимизации.

Оценив параметры движения головы, мы можем определить, куда приблизительно смотрит пользователь, и передвинуть курсор мыши в нужную точку экрана. Для каждого видеокadra трекер головы определяет матрицу модель–вид, задающую ориентацию модели в пространстве. Из данной матрицы можно извлечь три угла Эйлера, представляющие собой углы вращения объекта вокруг осей X , Y и Z . Используя значения угла вращения вокруг оси X , можем передвигать курсор по вертикали, а вокруг Y – по горизонтали (ось X направлена вправо, Y – вверх, Z – на пользователя).

Реализация бизнес-идеи

Реализация бизнес-идеи управления курсором мыши (УКМ) планируется на базе разработанной программы Head Tracking Demo [5, 6]. Программа зарегистрирована в Роспатенте (св. №2010610249). Загрузить программу можно по адресу: <http://headtracking.googlepages.com>.

Объектом коммерциализации в данном случае будет являться разработанное программное обеспечение (ПО). Получение прибыли планируется за счет лицензирования ПО УКМ, а массовость распространения нашей разработки планируется обеспечить за счет распространения ПО УКМ в составе стандартной комплектации ноутбуков.

В первом квартале 2010 г. в России было продано 2,2 млн компьютеров, из них 64% ноутбуков. Основная доля рынка (по информации Gartner) приходится на пятерку компаний: HP (19,3%), Acer (13%), Dell (12,2%), Lenovo (12,1%), Toshiba (5,1%). Таким образом, необходимо заинтересовать основных игроков рынка в нашей идее. Ключ к успеху – установка на каждом ноутбуке.

Конкурентными преимуществами нашей разработки являются следующие ее свойства:

1) Предполагается, что это будет ПО УКМ, предустанавливаемое на ноутбуки и поставляемое в составе стандартной комплектации. Пользователю не нужно загружать и устанавливать дополнительные программные модули, за счет чего упрощается начало работы.

2) Для работы не требуется наличия дополнительных внешних устройств для ноутбука. Это упрощает жизнь пользователя.

3) Хэндс-фри – не требуется физического контакта, управление происходит движениями головы пользователя, что является естественным способом взаимодействия.

4) Значительно расширяется численность пользователей компьютеров, так как в их число включаются лица с ограниченными двигательными возможностями.

В качестве основных потребителей можно выделить три группы пользователей: пользователи ПК, геймеры, инвалиды. Управление курсором движениями головы – это естественный способ управления компьютером, так как не нужно двигать мышью по столу. Навигация в трехмерных игровых мирах путем движений головы добавляет ощущение присутствия.

В дальнейшем планируется выполнение следующих категорий работ по созданию рабочего прототипа ПО УКМ:

1) Исследование возможности увеличения точности инициализации модели головы путем разработки методики детектирования головы пользователя на основе мультимедийного детектора.

2) Разработка методов компенсации влияния изменения условий освещенности на качество отслеживания головы пользователя.

- 3) Исследование возможности комбинирования различных методик обновления шаблона (статического и динамического) путем использования фильтрации для улучшения точности и устойчивости отслеживания головы.
- 4) Исследование возможности использования стереокамеры для улучшения точности позиционирования модели и ее отслеживания.
- 5) Реализация разработанных методов отслеживания головы в программной системе.
- 6) Испытание программной системы на реальных пользователях и оборудовании.
- 7) Модернизация мультимедийных компьютерных учебных и других программ на основе созданного ПО УКМ.
- 8) Демонстрация работоспособного прототипа ПО УКМ потенциальным клиентам (производителям ноутбуков) с целью заинтересовать их в распространении прототипа в составе поставляемых ноутбуков.

Литература

1. Вежнев В., Шоргин Р., Вежнев А. Система управления курсором «мышь» при помощи движений головы пользователя // Труды конференции Graphicon-2006. Новосибирск, Академгородок, 2006. Июль. С. 455–458.
2. Gorodnichy D.O., Roth G. Nouse 'Use your nose as a mouse' perceptual vision technology for hands-free games and interfaces. *Image and Vision Computing*. 2004. Vol. 22, Issue 12. 1 October. P. 931–942.
3. Xiao J., Moriyama T., Kanade T., and Cohn J. Robust Full-Motion Recovery of Head by Dynamic Templates and Re-registration Techniques // *International Journal of Imaging Systems and Technology*. 2003. Vol. 13. September. P. 85–94.
4. Cascia M.La, Sclaroff S. Fast, Reliable Head Tracking under Varying Illumination: An Approach Based on Registration of Texture-Mapped 3D Models // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2000. Vol. 22, № 4. April.
5. Кривцов О.А. Программа отслеживания перемещения головы на видео // Труды конф. «Современные техника и технологии – 2008». Т. 2. С. 320–321. Томск, 2008.
6. Кривцов О.А. Управление курсором мыши путем отслеживания наклона головы пользователя // Матер. докл. Пятой молодежной науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления: итоги реализации программы развития электроники и IT-технологий в Томской области». Томск: В-Спектр, 2008. С. 190–195.

УДК 004.4

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ И ПОДГОТОВКА ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ С ПОМОЩЬЮ MS SQL SERVER REPORTING SERVICES

А.В. Марков, А.В. Перцев, И.А. Русинов, В.С. Шерстнёв

Рассматриваются особенности построения отчетной документации, содержащей пространственные данные в shape-формате (ESRI), с помощью генераторов отчетов Seagate Crystal Reports и MS SQL Server Reporting Services.

Ключевые слова: пространственные данные, отчетная документация, векторные ГИС, Reporting Services, shape-формат.

В различных организациях, фирмах, и т.д. компьютеры перерабатывают массу всяческой информации. И хотя давно уже предсказывается переход к безбу-

мажной эре, но, похоже, что до нее еще далеко. До сих пор часто о результатах работы IT специалиста судят не по тому, что творится внутри компьютера, а по стопке отпечатанных документов, лежащих на стол руководителя.

Основная задача

В компьютере имеется некоторая информация, как правило, она находится в базе данных. Необходимо сделать следующее:

- отобрать необходимые данные, произвести их сортировку и группировку;
- произвести вычисления, например, промежуточных и общих итогов;
- добавить заголовки, комментарии, справки и т.д.;
- разместить все это на печатной странице и отформатировать;
- напечатать отчет на принтере или отправить по e-mail.

Таков общий вид одной из задач, которая встала перед авторами статьи при разработке информационной системы агрохимического предприятия, разрабатываемой в рамках НИОКР на кафедре ВТ ТПУ. (Более подробное описание системы в целом приведено в цикле предыдущих статей [4, 5]). Основным отличием от классических задач подготовки отчетной документации стала необходимость вывода в отчеты картографических данных формата shape (ESRI).

Существует несколько способов произвести указанные действия:

- Написать указанные процедуры с использованием любого языка программирования, используя доступ к данным на уровне системы. Способ универсальный, но требует больших затрат труда и времени, также он достаточно трудоемок для модификации отчетов.
- Использовать механизм OLE-автоматизации с текстовым редактором или электронной таблицей (например, Word или Excel). Этот способ требует несколько меньших усилий от программиста, но сильно грузит компьютер и, кроме того, требует наличия самих текстового редактора или электронной таблицы, кроме этого, офисные приложения не способны обрабатывать данные в формате shape [1].
- Использовать генератор отчетов – специализированную программу, позволяющую методами визуального программирования создать отчет и интегрировать его в программу. Этот метод лишен основных недостатков предыдущих подходов, и единственный его минус заключается в том, что большая часть функциональных генераторов отчетов является платными продуктами, что в свою очередь увеличит стоимость конечного продукта.

В ходе разработки было решено прибегнуть к использованию генераторов отчетов. Традиционные средства разработки ориентированы на программистов и слишком сложны для обычных пользователей. Для данной задачи больше подходят специализированные генераторы отчетов с дружественным, интуитивно понятным интерфейсом, но мощными средствами обработки и представления данных. Признанным лидером среди таких программ является Crystal Reports фирмы Seagate Software [2]. Также рассматривался ряд других современных генераторов отчетов, способных работать с геоданными, такие как Fast Report, Dream Report, но при сравнении технических характеристик все же был выбран Crystal Reports.

Хотя Crystal Reports имеет огромный набор встроенных функций для обработки данных, в том числе специализированные функции статистического и финансового анализа, необходимо было написать большое количество хранимых процедур, работающих на стороне сервера и предоставляющих необходимые данные в нужном формате. Таким образом, был создан промежуточный интерфейс между базой данных и модулем, генерирующим отчеты.

В ходе дальнейшей разработки и исследования авторами решено было отказаться от генерации отчетов на стороне клиентских машин и перенести данный функционал на серверную часть системы, представляющую собой СУБД Microsoft SQL Server 2008, в связи со следующими соображениями:

- Данный подход сократит накладные расходы на клиентские машины и сеть предприятия.
- Появится возможность реализовать централизованное хранилище отчетов на сервере.
- Появится возможность интеллектуального анализа данных (Data mining) с применением картографических данных.
- Появится возможность организовать доступ к отчетам через веб интерфейс.
- В Microsoft SQL Server 2008 r2 появилась поддержка географических данных и возможность их включения в отчетную документацию, посредством Reporting service напрямую.
- В Microsoft SQL Server 2008 r2 появилась возможность совмещать пространственные данные с карты и базы данных с другой аналитической информацией, что позволяет заменить отчеты, содержащие данные по каким-то географическим объектам в табличном виде, на отчеты, в которых эта информация выводится прямо на карте в том месте, где эти объекты расположены.

Службы Reporting Services в Microsoft SQL Server 2008 r2 предоставляют три новых способа визуализации данных в отчетах: карты, инфокривые и гистограммы и индикаторы. Для решения поставленной задачи необходимо было задействовать карты и гистограммы.

Конструктор отчетов предоставляют мастера «Карта» и «Слой карты», позволяющие добавлять в отчеты карты и слои карты, которые помогают визуализировать данные на географическом фоне. Слой карты отображает элементы карты на основе пространственных данных из галереи карт, из запроса SQL Server, который возвращает пространственные данные SQL Server, или из файла фигур ESRI. Элементы карты могут быть многоугольниками, представляющими участки, линиями, представляющими пути или маршруты, или точками, представляющими местоположения, такие как склады или города. Существует также возможность добавить фоновое изображение на основе фоновых мозаичных элементов Microsoft Bing Map.

Указав взаимосвязи между элементами карты и данными отчета, можно задавать правила для элементов каждого слоя карты, которые управляют цветом, размером, толщиной или типом маркеров. Например, можно добавить пузырьковую карту, которая варьирует размер пузырьков для местоположений участков в зависимости от объемов различных химических веществ, или цветную аналитическую карту, которая отображает наличие удобрений по географическим регионам.

Чтобы помочь пользователям интерпретировать карту, можно добавлять метки, условные обозначения, заголовки, а также шкалу цветов и шкалу расстояний. Можно добавить и интерактивные функции, такие как всплывающие подсказки и ссылки детализации, а также предоставить возможность ввода параметров, с помощью которых пользователь сможет интерактивно управлять отображением каждого слоя.

В отчете-карте можно настраивать существующий слой карты с помощью мастера «Карта». Предусмотрена возможность изменять тип карты, правила визуализации данных, а также поле соответствия, которое определяет связь между пространственными и аналитическими данными. На странице мастера «Опреде-

ление полей соответствия» для пространственных и аналитических данных отображаются данные из пространственного и аналитического источника данных, что позволяет проще выбирать поля для сопоставления.

В качестве источников данных для Reporting Services используются пространственные данные из одного из следующих источников:

- Файлы фигур ESRI. Файлы фигур ESRI содержат данные, соответствующие формату хранения пространственных данных Института исследования окружающей среды (Environmental Systems Research Institute, ESRI). Шейп-файлы ESRI ссылаются на набор файлов. Данные в SHP-файле указывают на географические или геометрические фигуры. Данные в DBF-файле содержат в себе атрибуты фигур. Чтобы просмотреть карту в режиме конструктора или запустить карту на сервере отчетов, нужно, чтобы оба файла были расположены в одной и той же папке. При добавлении пространственных данных из локального SHP-файла пространственные данные внедряются в отчет.

- Пространственные данные, которые хранятся в базе данных SQL Server. Можно использовать запрос, который задает типы данных SQLGeometry или SQLGeography из реляционной базы данных SQL Server. В результирующем наборе, который виден в конструкторе запросов, каждая строка пространственных данных обрабатывается как целое и хранится в своем элементе карты. Например, если существует несколько точек, заданных в одной строке результирующего набора, свойства отображения будут применяться ко всем точкам каждого элемента карты.

- Пользовательские местоположения. Можно вручную добавлять местоположения в виде внедренных точек на слое внедренных точек [3].

На момент написания статьи работы над данным проектом продолжают, развернуты и протестированы сервисы Reporting Services на серверной стороне, развернуто хранилище отчетов и доступ к отчетам через веб, также создано несколько тестовых отчетов.

Литература

1. ESRI. ArcGIS Engine. <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgisengine/index.html> (дата обращения: 12.07.2010).
2. Crystal Report <http://www.sap.com/solutions/sapbusinessobjects/sme/reporting-dashboarding/index.epx> (12.07.2010).
3. MSDN Службы SQL Server Reporting Services <http://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/ms159106.aspx> (12.07.2010).
4. Марков А.В., Шерстнёв В.С. Информационная система геомониторинга для агрохимических предприятий //Современные техника и технологии: Сборник трудов XV Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. Томск, 4–8 мая 2009. Томск: ТПУ, 2009. С. 246–247.
5. Шерстнёв В.С., Крыжановский В.В., Марков А.В., Русинов И.Г. Использование геоинформационных систем для решения задач обработки данных центров и станций агрохимической службы РФ // Информационно-вычислительные технологии и их приложения: Матер. 11-й Междунар. науч.-техн. конф. Пенза, ноябрь 2009. Пенза: МНИЦ ПГСХА, 2009. С. 259–261.

Дан анализ структуры речевого сигнала.

Ключевые слова: речевой сигнал, анализ, оцифровка.

Проблемы, связанные с автоматизированной обработкой речевого сигнала, берут свое начало еще в 30-х годах прошлого столетия. На тот момент необходимо было решать следующие основные задачи:

– фундаментальные (изучение принципов процессов речеобразования и речевосприятия);

– автоматизация управления, связанная с необходимостью освобождения рук оператора от управления автоматизированным процессом.

К 70-м годам XX в. проблема автоматизации управления была практически полностью решена на том уровне, который был необходим в данное время. Это означало возможность управления процессами при помощи сильно ограниченных простейших команд (например, «вперед», «стоп» и т.д.), однако достаточных для эффективного решения поставленных задач.

На настоящий момент времени основные задачи, связанные с распознаванием речи, могут быть разделены на следующие группы:

– распознавание речевого сигнала с целью определения точного способа кодирования;

– распознавание речевого сигнала с целью определения его смыслового характера;

– распознавание сигнала с целью определения различных характеристик диктора.

Несмотря на большое количество работ, ведущихся в данных направлениях, полученные системы имеют ряд существенных недостатков:

– недостаточная точность распознавания;

– ограниченный объем словаря;

– ограниченное множество дикторов;

– высокая трудоемкость вычислений, невозможность работы в реальном времени.

При распознавании речи могут быть использованы следующие параметры:

– частоты расположения формант;

– динамика изменения частоты форманты во времени;

– частота основного тона;

– динамика изменения интенсивности основного тона во времени;

– суммарная энергия спектра речевого сигнала;

– отношения интенсивностей гармоник к интенсивности основного тона;

– длительность сегмента;

– наличие/отсутствие вокализации на сегменте;

– распределение интенсивностей по частотному спектру.

Это далеко не полный список параметров, которые можно использовать. Однако проблемы связаны не только с большим числом параметров, но и с тем, что довольно сложно организовать процесс точного определения этих параметров по речевому сигналу, особенно в реальном времени.

Анализ структуры речевого сигнала носит иерархический характер: сперва определяется наличие речевого сигнала в звуковом, далее осуществляется анализ на уровне звуков (фонем). Потом осуществляется их группировка (анализ на уровне групп фонем), далее идут уровни слов, словосочетаний, предложений и т.д. Верхние уровни анализа речи не рассматриваются по причине их не критичности в случаях отсутствия автоматических средств анализа переходов между нижними уровнями. Общий вид различных уровней анализа речевого сигнала и переходов между ними демонстрирует рис. 1.



Рис. 1. Иерархический анализ речевого сигнала

При записи исходный речевой сигнал подвергается оцифровке. Запись осуществляется на основании измерения давления на мембрану микрофона, оцифровки этого значения и сохранения его в файл. Шаг квантования выбирается на основании качества записи и на практике определяется размером используемой памяти для хранения данных об отсчетах. В настоящее время на практике используется 8-, 16- и 32-битное квантование уровня звукового сигнала.

После оцифровки сигнала возникает проблема формирования выделения его параметров для дальнейшего анализа. Применительно к анализу речевых сигналов практически все параметры формируются на основе спектра полученного оцифрованного сигнала, однако методы выделения параметров зависят от метода получения спектра сигнала.

Применение анализа речи в медицинских целях при диагностике заболеваний речеобразующего тракта и реабилитации больных после резекции гортани. При заболеваниях органов речеобразующего тракта, например при раке гортани, изменяются параметры речеобразующей системы человека, приводящие, как следствие, к изменению голоса. Изучение данных изменений позволяет проводить раннюю диагностику онкологических заболеваний речеобразующего тракта на основе анализа речевого сигнала пациента. Кроме того, анализ речевого сигнала используется при оценке качества речи после операции резекции гортани при лечении данных заболеваний, что позволяет предоставить логопеду, отвечающему за постановку пищеводного голоса пациента, получить объектив-

ные данные относительно качества голоса и выработать соответствующие рекомендации по его улучшению [1].

Работа поддержана ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (ГК №П1083).

Литература

1. Балацкая Л.Н., Бондаренко В.П., Конев А.А. и др. Медико-технический комплекс по исследованию речевого сигнала при нарушениях голосообразования // Медицинская техника. 2007. №4. С. 11–14.

УДК 004.5

К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ДИКТОРА ПО РЕЧЕВОМУ СИГНАЛУ

А.А. Конев, Р.В. Мещеряков

Рассматривается формализация восприятия эмоционального состояния человека.

Ключевые слова: эмоциональное состояние, речевой сигнал.

Формализация восприятия эмоционального состояния человека направлена на исследование основных способов передачи информации во время диалога: мимики, речи, двигательных реакций. Подобная формализация возможна, потому что человек способен обучаться восприятию эмоций [1]. Исследование реакции человека на эмоциональные стимулы возможно на уровне вегетативной нервной системы и деятельности мозга. Например, в работе [2] для диагностики эмоций использовались показатели электроэнцефалограмм.

Автоматизация определения эмоционального состояния человека по речи используется для:

- определения стрессового состояния человека [3, 4];
- повышения естественности синтезированной речи [5];
- автоматизации работы call-центров [6];
- проведения криминалистических экспертиз психологических свойств диктора [7];
- помощи в обучении актерскому мастерству [8].

Запись эмоционально окрашенных речевых сигналов для дальнейших исследований может проводиться в различных условиях. Основная задача – естественность эмоций в подготовленном материале.

В работе [9] в качестве материала для исследований используются записи звонков в медицинский call-центр, которые были проанализированы и классифицированы по типам эмоций экспертами.

Материалом исследования восприятия признаков эмоциональной речи [10] были выбраны записи спонтанной речи спортивных комментаторов, сделанные во время прямых трансляций футбольных матчей. Другой вариант – вместо реального проявления эмоций использовать воспроизведение эмоций профессиональными актерами [11] или непрофессионалами [12].

В некоторых исследованиях предпринимались попытки искусственного создания ситуаций, требующих проявления эмоций. В работе [13] – это запись об-

щения детей с роботом, который на самом деле управлялся человеком. Записывалась реакция детей на выполнение/невыполнение роботом данной ими команды.

В исследовательских работах автоматической классификации подвергаются различные наборы эмоций. Наборы включают в себя от 2–3 до более 20 классов эмоций. Часто учитывается удаленность эмоций друг от друга по степени активности проявления, позитивности и т.д.

В работе [14] рассматриваются три класса проявления эмоций: «нейтральный», «гнев» и «подавленность». В работе [12] исследуются 5 классов: «гнев», «скука», «счастье», «печаль» и «нейтральный». В работе [11] – 7 классов: «гнев», «счастье», «печаль», «страх», «удивление», «отвращение» и «нейтральный». В работе [15] рассматриваются негативные эмоции: «гнев», «печаль», «страх», «беспокойство», «отвращение», «отчаяние», «презрение» и «нейтральный». Для создания эмоционально окрашенной синтезированной речи [16] используются: «гнев», «счастье», «печаль», «страх», «отвращение», «беспокойство», «гордость», «позор» и «виновность».

Более полная классификация эмоций используется в [9] и представлена в таблице.

Грубая классификация (8 классов)	Подробная классификация (22 класса)
Страх	Страх, беспокойство, стресс, паника, замешательство, тревога
Гнев	Гнев, раздражение, нетерпение, злость, ярость
Печаль	Печаль, разочарование, покорность, отчаяние
Обида	Обида
Удивление	Удивление
Облегчение	Облегчение
Положительные	Интерес, сострадание, удовольствие
Нейтральный	Нейтральный

Подробное рассмотрение использовавшихся наборов эмоций представлено, например, в [5].

Используемое пространство распределения эмоций также отличается в различных работах. На рис. 1 представлено круговое распределение эмоций, основанное на работах [17, 18].



Рис. 1. Распределение эмоций

Речь содержит в себе признаки эмоционального состояния диктора различных типов: вербальные (определенные слова и выражения, придающие эмоциональную окраску), темпоральные, громкость, просодия и т.п. Первоначально необходимо рассмотреть признаки, описывающие восприятие человеком различных эмоций. Такие признаки изучаются в одном из разделов филологии – эмоциональной фонетике.

Так, например, эмоциональная напряженность речи может быть описана следующими признаками [10]:

- повышение общей громкости речи (по отношению к предшествующему менее напряженному фрагменту);

- тенденция к понижению темпа речи, что обусловлено уменьшением темпа артикулирования, а также возрастанием частотности коротких пауз (1–1,5 с).

В русской речи для выражения эмоций используется несколько приемов [19]:

- растягивание ударных гласных – может выражать различные эмоции (ирония, сожаление, удивление, возмущение, досада, восхищение) или высокую степень эмоциональности;

- удлинение согласных – может выражать сомнение или нерешительность; чаще других удлиняются начальные и щелевые согласные;

- выпадение гласных – может выражать сильное возбуждение, восхищение, недовольство и др.;

- нарушение единоударности слов (скандирование) – замедление темпа, четкое произнесение каждого слога с разделением небольшими паузами. Вследствие этого создается иллюзия того, что каждый слог является ударным. Следствием четкого произнесения является отсутствие редукции гласных. Может выражать: убеждение, удовлетворение, восхищение и др.

Таким образом, в основном описанные признаки не характеризуют какую-то конкретную эмоцию, а позволяют выразить человеку эмоциональную напряженность высказывания. Конкретная эмоция часто может быть оценена только по контексту высказывания.

Большая часть работ направлена на автоматическую классификацию произвольного набора эмоций, т.е. без привязки к конкретной цели. Поэтому для решения каждой конкретной задачи необходимо составлять собственный набор эмоций. В качестве параметров практически не используются фонетические параметры, основанные на длительности отдельных фонем (ударных гласных, согласных). Часто используется длительность вокализованных сегментов.

В качестве акустических параметров всегда используются различные статистические характеристики частоты основного тона, параметры, связанные с энергией или интенсивностью сигнала. Часто используются частоты формант.

Работа поддержана ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (ГК №П1083).

Литература

1. Ильин Е.П. Эмоции и чувства. СПб.: Питер, 2001. 752 с.
2. Лапшина Т. Н. Психофизиологическая диагностика эмоций человека по показателям ЭЭГ: Дис. ... канд. психол. наук. М., 2007. 190 с.
3. Hansen J., Patil S. Speech under stress: analysis, modeling and recognition // Speaker classification I: Fundamentals, features, and methods. Berlin: Springer, 2007. P. 108–137.

4. Anagnostopoulos C.-N. Feature Selection in Acted Speech for the Creation of an Emotion Recognition Personalization Service // Proceedings of the 2008 Third International Workshop on Semantic Media Adaptation and Personalization. 2008. P. 116–121.
5. Schroder M. Speech and emotion research: An overview of research frameworks and a dimensional approach to emotional speech synthesis. PhD thesis, Institute of Phonetics, Saarland University. 286 p.
6. Розалиев В.Л. Моделирование эмоциональных реакций пользователя при речевом взаимодействии с автоматизированной системой: Дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2009. 163 с.
7. Журавлева А.А., Коваль С.Л. Диагностика психологических качеств диктора по устной речи // Тр. междунар. конф. «Диалог-2007». М.: Изд-во РГГУ, 2007. С. 183–187.
8. Автушенко И.А. Сценическая речь и эмоциональный слух: Автореф. дис. ... канд. искусствоведения. М., 2010. 20 с.
9. Devillers L., Vidrascu L. Real-life emotion recognition in speech // Speaker classification II: Fundamentals, features, and methods. Berlin: Springer, 2007. P. 34–42.
10. Эйхгольц И.А. Восприятие признаков эмоциональной напряженности в спонтанной звучащей речи: на материале речи спортивных комментаторов: Дис. ... канд. филол. наук. Воронеж, 2008. 201 с.
11. Saratxaga I., Navas E., Hernaez I., Luengo I. Designing and recording an emotional speech database for corpus based synthesis in Basque // Proceedings of the LREC, 2006. P. 2126–2129.
12. Pao T.-L., Chen Y.-T., Yeh J.-H., Liao W.-Y. Detecting emotions in Mandarin speech // Computational linguistics and Chinese language processing. 2005. Vol. 10, № 3. P. 347–362.
13. Schuller B., Batliner A., Seppi D. et al. The relevance of feature type for the automatic classification of emotional user states: low level descriptors and functionals // INTERSPEECH 2007. Antwerp, Belgium, 2007. P. 2253–2256.
14. Forsell M. Acoustic correlates of perceived emotions in speech. Master thesis, Department of Speech, Music and Hearing, KTH. Stockholm, Sweden, 2007. 94 p.
15. Ser W., Cen L., Yu Zh. L. A hybrid PNN-GMM classification scheme for speech emotion recognition // Proceedings of the 19th International Conference on Pattern Recognition (ICPR). Florida, USA, 2008.
16. Cullen C., Vaughan B., Kousidis S. et al. Generation of high quality audio natural emotional speech corpus using task based mood induction // International Conference on Multidisciplinary Information Sciences and Technologies. Extremadura, Merida, 2006.
17. Hofer G.O. Emotional speech synthesis. Master of Science, School of Informatics. Edinburgh: University of Edinburgh, 2004. 65 p.
18. Stroemhaug T. Detection of emotional speech. N.Y., 2007. 33 p.
19. Ожегова Е. Б. Фонетика эмоциональной речи в ее устной и письменной реализации: Дипломная работа. М., 1995.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СХОЖЕСТИ WEB-ДОКУМЕНТОВ ПРИ ПОМОЩИ RGB-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Н.В. Неелова

Разработана математическая модель определения схожести Web-документов по смысловому значению их слов. Предложена реализация построенной модели с использованием грамматических признаков слов. В качестве отпечатка web-документа использовалось его графическое представление в виде цепочек RGB-кода.

Ключевые слова: поисковые системы, нечеткие дубли, метод шинглов, RGB код, вычисление схожести документов.

Поисковая система – программно-аппаратный комплекс с веб-интерфейсом, предоставляющий возможность поиска информации в Интернете. Одна из подзадач поисковых машин – определение и удаление дублей. Согласно аналитической справке компании Яндекс за 2009 г. [1] количество схожих данных составило 60 тыс. гигабайт против 140 тыс. гигабайт оригинальной текстовой информации. Дублирующая информация для поисковых систем является спамом не только в разрезе увеличения хранимых архивов, но и при формировании поисковой выдачи на ответ пользователя. Интернет является универсальной глобальной информационной средой, охватывающей большинство сфер человеческой жизни, в том числе коммерческую. Многие несут большие убытки от наличия в сети дублирующей информации, из-за несовершенных алгоритмов определения авторства. Поэтому полученный треугольник с отрицательными связями (поисковая система – дублирующая информация – человек) определяет актуальность задачи детектирования дублей.

Существует много различных подходов для оценки схожести Web-документов, основанных на символьном, словесном и фонетическом сравнении. Одним из самых известных методов, используемых для выявления схожих документов в современных поисковых системах, является метод шинглов. Но он чувствителен к перестановкам внутри текста: абзацев, предложений, слов. Усовершенствованный алгоритм «супершинглов» [2] учитывает данную уязвимость. Однако замена слов синонимами позволяет писать тексты логически одинаковые, но разные с точки зрения поисковой машины.

Метод «супершинглов» базируется на буквенном представлении текста, что и позволяет делать подмену. В идеале сопоставление текстов необходимо производить на множестве «значений», что затруднительно реализовать на современном уровне машинного развития. В данной работе предлагается рассмотреть текст как информационную последовательность косвенных признаков слов, которые будут составлять отпечаток документа, подобно цепочкам ДНК, определяющим личность человека. Основное требование к выбору косвенных признаков заключается в одинаковом отображении на их множество синонимов.

Таким образом, для сравнения двух документов $d_i \in D$ и $d_j \in D$ необходимо получить отпечатки обоих текстов S_i и S_j посредством функции f_s :

$$f_s : d \rightarrow S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}, n > 0. \quad (1)$$

Назовем информационной структурой $I = \{i_1, i_2, \dots, i_l\}$ упорядоченную последовательность значений l слов $W = \{w_1, w_2, \dots, w_l\}$ документа d . Каждое слово w_i

имеет ряд косвенных признаков $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$, которые способствуют получению нечеткого образа $i = I(w)$ с заданной погрешностью r посредством функции f_i :

$$f_i : P(w) \rightarrow [i \pm r] \in I. \quad (2)$$

Еще одним из основных свойств косвенных признаков $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$, участвующих в создании отпечатка документа S , является их эквивалентность при разных словах, но с одинаковым значением:

$$\begin{cases} (\exists w_i \in W_i)(\exists w_j \in W_j)P(w_i, w_j | w_i \neq w_j), \\ (\exists i_i \in I_i)(\exists i_j \in I_j)P(i_i, i_j | i_i = i_j), \\ P_i \leftrightarrow P_j. \end{cases} \quad (3)$$

Для получения отпечатков каждый признак слова подвергается функции кодирования f_k :

$$f_k : \sum p \rightarrow S. \quad (4)$$

Полученные отпечатки двух сравниваемых документов обрабатываются функцией $Sim(d_i, d_j)$. Полученное значение схожести принимает значение на интервале $[0;1]$. Документы будут считаться схожими, если численное выражение их схожести выше некоего порога p_d :

$$Sim(d_i, d_j) > p_d, p_d \in [0,1]. \quad (5)$$

В исследовании предложено использовать грамматические особенности слов. В соответствие каждой граммеме ставился код, образующий тройку действительных чисел, – RGB. Подобное решение было принято, во-первых, для наглядного представления получаемых цепочек и их обработке, во-вторых, оно удовлетворяет требуемым свойствам (2) и (3), в-третьих, существует немало решений для сравнения графических отпечатков, учитывая определенные погрешности, в нашем случае – это смещение блоков, а следовательно, и цепочек.

В качестве реализации разработанного подхода была написана программа, на вход которой подавались тексты и база данных соответствия граммем и цветовых кодов. Для лемматизации и получения грамматических характеристик слов в тексте использовался сторонний морфологический модуль, разработанный проектом АОТ [3]. Данный модуль для каждого слова определяет его лемму, часть речи и граммему. Была предусмотрена возможность назначения и изменения расцветки грамматических характеристик. По умолчанию все отглагольные формы получили зеленые оттенки, прилагательные и подобные описательные части речи – синий оттенок, а существительные – красный. Такое деление позволяет сгладить цветовое различие при незначительной разнице в грамматических характеристиках синонимов, например число существительного или глагола. В качестве координатной оси X0Y построения изображения была выбрана система: количество слов в предложении и количество предложений в тексте.

На рис. 1 представлена графическая интерпретация тройки текстов в серых оттенках. Пара 1–2 иллюстрирует систему нечетких дублей (оригинал и копия). Пары 1–3 и 2–3 (оригиналы друг для друга) не являются схожими между собой текстами. Данные выводы можно сделать визуально, не используя, вспомогательных инструментов для расчета схожести документов.

После получения множества графических интерпретаций различных текстов оно подвергалось процессу кластеризации с помощью программы AntiDupl.NET

[4]. В исследовании участвовало 17 различных тематик. На каждую тематику было написано по 3 текста объемом в 2000 знаков (средний объем Web-документов). Далее каждый текст размножался на 10 статей ручным (перефразирование предложений) или автоматическим рерайтингом (автоматическая замена синонимов). Итого было получено 500 текстов.

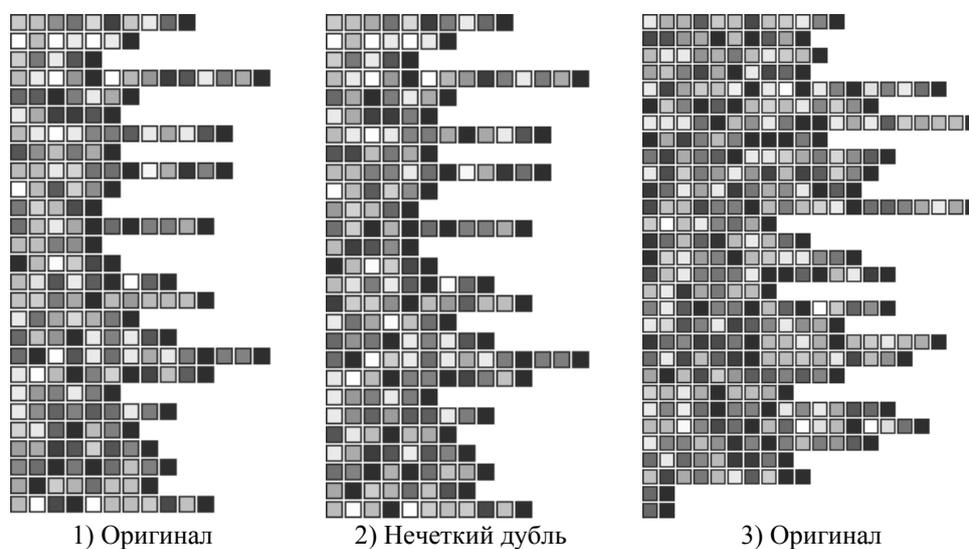


Рис. 1. Представление текста в RGB-коде

Процесс кластеризации показал следующие результаты. При пороговой разности в 7% полнота определения дублей текстов, полученных при помощи синонимайзера, составила в среднем 70–80% при точности 90–95%. Полнота определения кластеров нечетких дублей, составленных путем ручного рерайтинга, составила всего лишь 30–40%. Низкие показатели полноты детектирования объясняются использованием программного обеспечения, которое не учитывает нюансы рассматриваемой задачи кластеризации.

Проведенная работа позволила рассмотреть текст как последовательность цепочек косвенных признаков, определяющих смысловое значение слов и представленных в виде RGB-кода. С помощью данного подхода можно обойти проблему синонимических замен, а использование разрабатываемых методов детектирования подобных изображений может позволить усовершенствовать метод поиска схожих текстов.

Литература

1. Контент Рунета [Электронный ресурс] : бюллетень / Информационный бюллетень по данным поиска Яндекса на лето–осень 2009. http://download.yandex.ru/company/yandex_on_content_autumn_2009.pdf
2. Pyinsky S. An efficient method to detect duplicates of Web documents with the use of inverted index / S. Pyinsky, M. Kuzmin, A. Melkov, I. Segalovich, 2002. http://download.yandex.ru/company/experience/www2002/web-duplicates_detect.pdf
3. Модуль MorphCorpusCreator.exe [Электронный ресурс] // Проект АОТ (Автоматическая обработка текста). – <http://www.aot.ru>
4. AntiDupl.NET [Электронный ресурс] // И. Ермолаев <http://antidupl.narod.ru>

Рассматриваются современные подходы к семантическому поиску информации. Выявлены отличительные особенности семантического поиска в сценарии информационного поиска, и выполнено их сравнение с традиционными методами поиска по ключевым словам.

Ключевые слова: онтология, семантический поиск, семантическая аннотация, средства обработки естественного языка.

В отличие от традиционных подходов информационного поиска, в которых используется релевантная модель оценки соответствия исследуемого документа поисковому запросу, в подходах семантического поиска (СП) используются технологии понимания смысла текстов для выдачи релевантных результатов. Так как традиционные подходы информационного поиска рассматривают текст просто как набор слов и не учитывают семантическую особенность слова, они не могут справиться с такими проблемами, как омонимы (когда слова пишутся одинаково, но имеют много значений). Кроме того, без понимания смысла текста система является не интуитивной и сложной в использовании, что непосредственно снижает эффективность её применения.

В последние годы с применением семантической технологии были разработаны разнообразные подходы СП. СП-системы могут быть реализованы в виде систем «вопрос–ответ», либо в виде навигационных систем, либо так же, как и обычные поисковые системы, по ключевым словам и т.д. Семантические возможности поисковых систем обычно полагаются либо на наличие структурированных данных (машиночитаемых данных), либо на наличие инструментов обработки естественного языка. В данном обзоре к первой группе относятся подходы *SHOE* и *True Knowledge*, а ко второй группе – все остальные подходы.

Анализируемые системы семантического поиска

Система *SHOE* (*Simple HTML Ontology Extensions*) является ранним подходом к описанию и поиску документов в Semantic Web [1]. Данный подход требует описания онтологии предметной области, где типы документа соответствуют понятиям онтологии. Отдельные веб-страницы связываются с понятиями и свойствами онтологий с помощью языка разметки *SHOE* (*SHOE markup-language*), который не обрабатывается (невидим) браузером, но используется СП-системами. В сценарии СП пользователь выбирает одно из понятий онтологии. В результате работы системы определяется набор свойств, которые применимы к отобранному понятию. Затем пользователь задает значения для свойств, которые его интересуют. По этим свойствам система составляет объединенный запрос и оценивает его на основе описания документов.

Система *Librarian agent* (*Stojanovic*, 2003) работает аналогично тому, как ведет себя библиотекарь – человек [2]. При выполнении поиска пользователи интерактивно уточняют свои информационные потребности. Обработка запроса вовлекает три источника информации: 1) онтология используется для определения ясности или однозначности запроса; 2) предыдущие запросы пользователя помогают точнее определять значение термина запроса; 3) анализ документов используется для определения размера множества результатов расширенных или сокращенных запросов.

Система Squiggle является платформой для Semantic Web, которая упрощает развертывание СП систем [4]. Сама *Squiggle* не является поисковой системой, однако она позволяет пользователям настраивать свои системы на определенные области знаний. *Squiggle* добавляет к традиционному подходу поиска по ключевым словам (известная поисковая машина *Lucene3* [4]) возможности СП. В связи с этим система *Squiggle* предоставляет не только синтаксически соответствующие результаты, но также анализирует запрос пользователя, чтобы определить его смысл. Для этого система анализирует термины запроса пользователя, чтобы определить связанные понятия из онтологии области.

Система Ask Jeeves (Ask.com) использует семантические технологии для вывода релевантных ответов на запросы пользователей. В настоящее время она считается одной из лучших систем типа «вопрос–ответ». Технология, реализованная в системе *AnswerFarm*, позволяет автоматически выявлять пары *вопрос/ответ* из сети Интернет, и эти данные в дальнейшем будут доступны для поиска.

Система Powerset (Powerset.com) позволяет искать документы, семантически релевантные запросам пользователя, которые могут и не быть синтаксически релевантными. Релевантность документа запросу оценивается по смыслу текста с помощью технологии обработки естественного языка (*Natural Language Processing tool* [5]), которая является собственной разработкой компании. Поисковая возможность *Powerset* работает в рамках открытой энциклопедии *Wikipedia* и при этом значительно сокращает время, затраченное пользователями на поиск в ней нужных статей. В отличие от других поисковиков, *Powerset* способен понимать запрос пользователя и представлять найденные результаты в хорошем структурированном виде в зависимости от информационной потребности пользователя.

Система Hakia (Hakia.com). *Hakia* является СП-системой в Web-сети. Данная система базируется на трех технологиях: *OntoSem* – хранилище значений; *QDEX* – технология индексации документов; *SemanticRank* – алгоритм ранжирования текстов по смыслу. *OntoSem* является хранилищем отношений между понятиями или другими словами – лингвистическая база данных, где слова распределяются по категориям в зависимости от значения, которое они несут. *QDEX* является аналогом обратного индексирования в традиционных подходах информационного поиска. Для каждого документа *QDEX* выводит список возможных вопросов к нему и использует эти вопросы в качестве индекса при поиске. Преимуществами *QDEX* над известным способом обратного индексирования являются небольшое требуемое дисковое пространство для сохранения индекса больших текстов и возможность выполнения смыслового поиска.

Сравнение

В системе SHOE требуется наличие семантических аннотаций (метаданных) документов. Соответственно, возможность поиска непосредственно будет зависеть от качества составленных метаданных. Однако большинство существующих документов в среде Интернета представляются без всех метаданных, что делает задачу обеспечения аннотации документов для цели поиска очень трудоёмкой. В системе *True Knowledge*. СП выполняется на основе имеющейся в системе базы дискретных фактов и правил логического исчисления. Соответственно, эта база данных является важным компонентом системы, а составление такой базы данных фактов для всех искомых документов является очень трудоёмкой задачей.

Семантические возможности системы *Squiggle* и агента библиотекаря заключаются в модификации запросов пользователя, а релевантность документа запросу является синтаксической, т.е. вычисляется традиционными методами. Повышение точности результатов в этих системах достигается за счет использования подходящих терминологии предметной области и правильного оформления запроса.

В остальных системах (*Ask Jeeves*, *Hakia* и *Powerset*) релевантность документа запросу является семантической и вычисляется на основе анализа смысла текстов средствами обработки естественного языка. Применяемые в них подходы семантического анализа текста могут быть использованы для любых документов. Однако современные средства обработки естественного языка еще далеки от совершенства и поэтому эффективность применения методов семантического анализа текстов ограничена [5]. При сравнении подходов СП с традиционными подходами поиска по ключевым словам можно отметить, что они теоретически имеют ряд преимуществ по достижению релевантности результатов. Основным недостатком подходов СП в сравнении с традиционными подходами является то, что алгоритмы обработки смысла текстов зависят от используемого естественного языка, т.е. они должны быть специально настроены для конкретного языка. При этом для каждого языка должны учитываться его синтаксические и семантические особенности, отношения между словами и т.д. В связи с этим затруднена реализация подходов СП в многоязычных системах.

Заключение

Несмотря на огромные интересные возможности, которые обеспечивают семантические поисковые системы, в настоящее время доминирующую позицию в сфере информационного поиска занимает выдающийся представитель традиционных подходов поиска по ключевым словам – *Google*. Этот показатель говорит о несомненной эффективности его применения. Однако у каждой существующей поисковой машины (поисковик) имеются свои недостатки, и поэтому поисковики постоянно совершенствуются. В связи с этим имеется смысл использования семантических технологий для выполнения поиска в качестве дополнения к существующим традиционным системам информационного поиска.

Литература

1. Heflin J. and Hendler J. (2000) 'Searching the web with SHOE', Artificial Intelligence for Web Search. Papers from the AAAI Workshop, WS-00-01, AAAI Press, Menlo Park, CA. P. 35–40.
2. Stojanovic N. (2003) 'On analysing query ambiguity for query refinement: the librarian agent approach', Conceptual Modeling – ER 2003, 22nd International Conference on Conceptual Modeling, Chicago, IL, USA, October 13–16, Proceedings. P. 490–505.
3. Celino I., Valle E.D., Cerzza D., Turati A. Squiggle: a semantic search engine for indexing and retrieval of multimedia content // Proceedings of SAMT 2006. P. 20–34.
4. Christopher D. Manning, Prabhakar Raghavan, Hinrich Schutze (2008) 'Introduction to information retrieval'. P. 504.
5. Makela E. Survey of Semantic Search Research, Tech. rep., Semantic Computing Research Group. Helsinki Institute for Information Technology, 2007.

УСТРОЙСТВО МОНИТОРИНГА И АРХИВИРОВАНИЯ СЕТЕВОГО ТРАФИКА В ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЯХ

В.А. Онуфриев, А.Н. Качалов

Дается обзор требований к системам автоматизации, особенностей и проблем, возникающих при их применении. Авторами предлагается устройство, помогающие решить эти проблемы. В заключение показаны преимущества, получаемые при использовании данной системы в промышленности.

Ключевые слова: диагностика, промышленные сети, системы автоматизации, сетевой трафик, архивация, мониторинг.

В системах автоматизации, применяемых в 70–80-е годы, было непросто выбрать между техническими способностями системы и ее способностями удовлетворения поставленным требованиям.

Они создавались отказоустойчивыми, но при этом очень громоздкими.

Современные же автоматизированные технологические системы должны обеспечивать:

- максимально возможную степень автоматизации управления технологическим оборудованием;
- высокую надежность каналов сбора и передачи информации;
- своевременную реакцию системы управления на события в системе, включая предаварийные и аварийные;
- визуализацию состояния оборудования и контролируемых технологических параметров [1].

Особенности хранения информации на технологическом объекте

Рассмотрим особенности сбора и хранения информации на технологическом объекте:

- Неполнота информации о технических данных на объекте, связанная с тем, что служебные сообщения не подлежат мониторингу.
- Необходимость продолжительного хранения технологических данных, в том числе на среднем и нижнем уровнях.
- Необходимость вынесения системы хранения данных за пределы промышленной зоны по причине взрывоопасности.

Классический вариант хранения данных – использование *самописцев*.

Самописцы – устройства для хранения и регистрации данных, которые использовались и используются в химической, фармацевтической промышленности, в энергетике, обработке металлов, слежении за окружающей средой и ряде других применений, на объектах, подобных радиоизотопному термоэлектрическому генератору, и др. При этом они:

- обеспечивают тщательную регистрацию изменения основных требующих продолжительного мониторинга параметров объектов (ток, напряжение, температура, влажность, давление и т.д.), находящихся в полевых условиях, непосредственно в местах их эксплуатации;
- надежно защищены от внешних воздействий окружающей среды.

В настоящее время получили распространение электронные самописцы, передающие данные на компьютер в цифровом виде [2], используя промышленные интерфейсы.

Прогнозы развития протоколов (рис. 1) показывают стабильный рост распространения *Ethernet/IP (Internet Protocol)*.

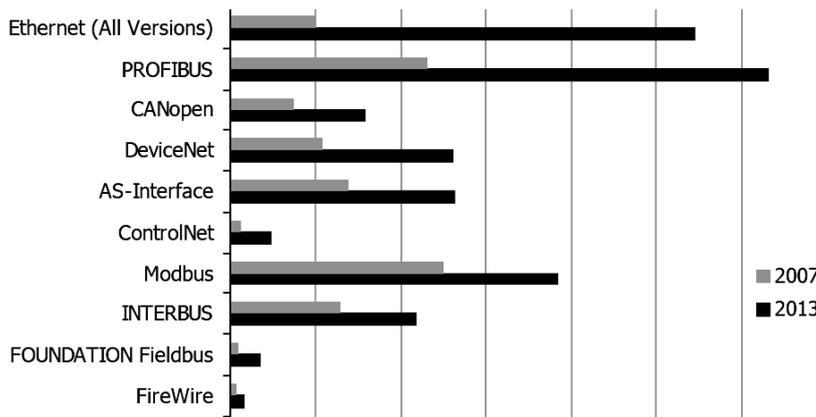


Рис. 1. Прогнозы развития промышленных протоколов

В связи с этим наше устройство мониторинга будет «прослушивать» именно сети *Ethernet*.

Принцип работы блока мониторинга и архивации данных

Архитектура блока показана на рис. 2.

В составе его организован веб-сервер, используемый для конфигурирования всего устройства.

Данные на *SD*-накопителях (*SD – Secure Digital*) хранятся в формате, который в последующем преобразуется в формат *WireShark*.

Ядро системы может представлять ПЛИС (программируемая логическая Интегральная схема) или МК (микроконтроллер).

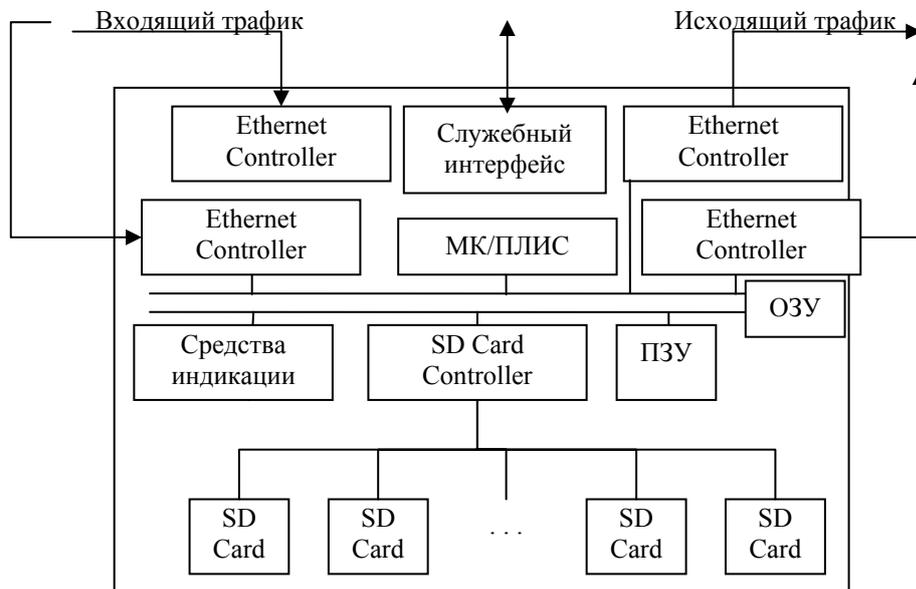


Рис. 2. Структурная схема блока

На рис. 2: ОЗУ – оперативное запоминающее устройство, ПЗУ – постоянное запоминающее устройство.

При прохождении трафика подлежащая мониторингу информация может быть выделена при помощи фильтра.

Преимущества использования ПЛИС:

- Программируемая логика позволяет реализовывать структуры, которые на аппаратной платформе реализовать трудозатратно.

- Преимущества ПЛИС заключаются в более гибкой структуре [3].

Устройство мониторинга, построенное на ПЛИС, включает преимущества самописцев, при этом не уступая современным системам хранения данных.

Общая схема добавления устройства в систему автоматизации показана на рис. 3.

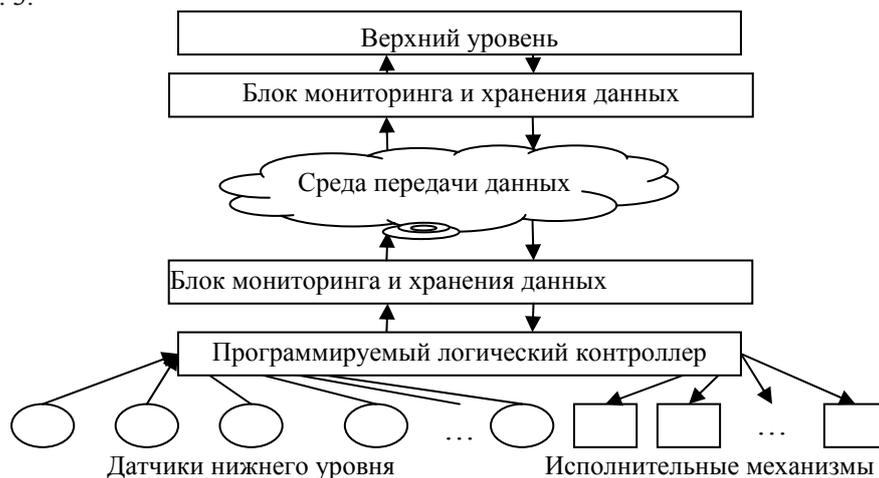


Рис. 3. Добавление двух блоков в промышленную систему

Получаемые преимущества:

- Система позволяет «прослушивать» весь технологический трафик на объекте, а также служебные сообщения.

Это дает возможность отслеживания отклонения данных трафика от нормы для улучшения информированности о работе системы, начиная еще с нижнего уровня. Возможность использования фильтра (по адресу *Internet Protocol (IP)* или *Media Access Control (MAC)*, протоколу, адресу устройства в промышленной сети, типу данных, их адресу и т.д.) избавляет от хранения лишних данных.

- Система не оказывает заметного влияния на производительность работы системы информирования на технологическом объекте. Задержка трафика не превышает 1 мкс.

Очень важно, пропуская трафик, не допускать длительных задержек.

- Система позволяет архивировать данные, в том числе и служебные.

- Архивирование происходит в формате, конвертируемом в формат *Wire-Shark*.

- Долговременное хранение данных.

- Хранение и обработка данных непосредственно на объекте.

Использование защищенного корпуса предохраняет блок от внешнего температурного воздействия, вандализма, а искробезопасный корпус позволяет размещать систему на взрывоопасной территории.

- Управление по служебному интерфейсу, организация веб-сервера.
 - Надежность хранения данных.
- Обеспечивается алгоритмом записи и кодирования данных.
- Возможность питания по стандарту *Power over Ethernet (PoE)*.

Чтобы показать возможность применения блока мониторинга и хранения данных на любой стадии развития системы, рассмотрим этапы ее жизненного цикла.

Основные этапы жизни системы

Любая техническая система возникает не сразу и проходит этапы развития. *Замысел* или первоначальная концепция новой сложной системы никогда не возникает в законченном и отработанном виде.

Уже на этапе проектирования важно выявить особенности взаимодействия отдельных частей системы (контроллеров, исполнительных механизмов и т.д.) при различных условиях, «прослушивая» системный трафик.

На этапе *пусконаладки*, как правило, в неполной мере учитываются характеристики комплектующих систему элементов, в процессе серийного производства неизбежна доработка технической документации, осуществляемая с привлечением проектировщиков. И так как одной из основных задач проектировщиков на этапе производства является разработка методов оптимизации производства и повышения его эффективности, то выявление проблем на этом этапе особенно критично.

Поскольку *эксплуатация* с точки зрения потребителей системы является основным этапом ее жизни, то усилия проектировщиков направлены на то, чтобы обеспечить безусловное выполнение системой заданных технических характеристик, отклонение от которых важно фиксировать и архивировать в целях выявления причин сбоев и ошибок.

С устареванием системы ошибки и сбои происходят значительно чаще. По этой причине на этот период наблюдение за правильной работой системы должно быть достаточно эффективным.

Литература

1. <http://www.cta.ru>
2. <http://www.vbrspb.ru>
3. <http://www.actel.ru>

СЕМАНТИЧЕСКИЙ ВЕБ

Фам Чи Куонг

Представлен семантический Веб как новый способ общения.

Ключевые слова: Интернет, Веб, компьютер, пользователь.

Текущий веб и новое направление развития

World Wide Web (WWW) изменил способ общения людей друг с другом, то, как информация распространяется и хранится, а также методы ведения бизнеса. Текущая инфраструктура веба (веб 2.0) поддерживает распределенную сеть веб-страниц, которые могут относиться друг к другу с помощью глобальных ссылок, которые называются *Uniform Resource Locators (URLs)*. Современный Интернет –

это огромная библиотека взаимосвязанных документов, которые передаются людям с помощью компьютеров. WWW вырастает из гипертекстовых систем, которые может создавать любой человек по своему усмотрению. А это означает, что качество информации или даже сохранение документов не может быть гарантировано. В настоящее время Интернет содержит большой объем информации и знаний, но машины обычно служат только для доставки, хранения и передачи информации. Люди подключают все источники информации и интерпретируют их самостоятельно.

Интернет является децентрализованным, при этом существует проблема сохранения информации, несоответствия в терминологии и неспособности удалить устаревшую информацию. Кроме того, существует ограничение доступа к определенной информации. Основным препятствием для обеспечения более эффективной поддержки веб-пользователей является то, что в настоящее время веб-содержимое доступно только поисковым машинам (*machine-accessible*).

Решение проблемы состоит в использовании интеллектуальных подходов, необходимых для того, чтобы веб-контент был легко понятен машинам (*machine-understandable*). Такое решение называется планом революции веба или семантическим вебом (СВ). СВ повышает качество работы с текущей страницей, компьютеры могут обрабатывать информацию, представленную на WWW, интерпретировать и подключать её, чтобы помочь людям найти необходимые данные. Также WWW является мощной распределяющей гипертекстовой системой. Семантический веб предназначен для оформления полученной информации, для разделения данных на документы. Иными словами, это проект, который должен обеспечить общую основу, что позволяет обмениваться данными для совместного и повторного использования.

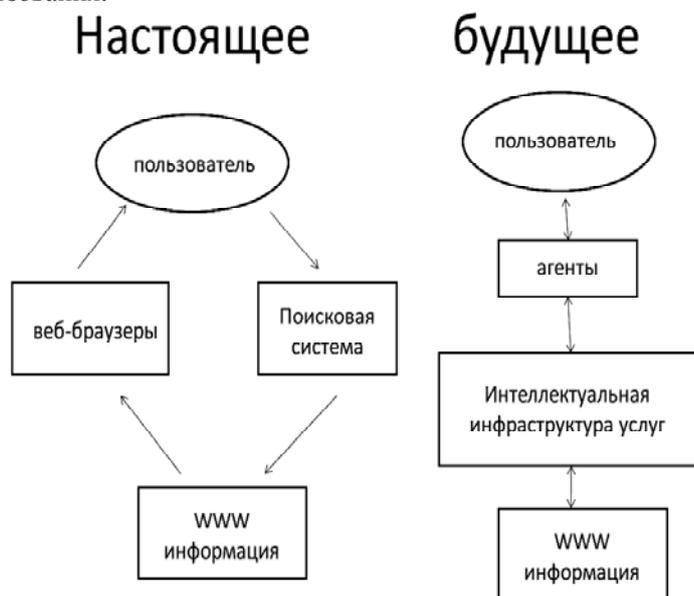


Рис. 1. Диаграмма операции текущего и семантического веба

Семантический веб

Основной идеей СВ является поддержка распределения в вебе на уровне данных, а не на уровне представления. Не одна страница связывается с другой, а

один элемент данных может связываться с другим, используя глобальные ссылки, которые называются *Uniform Resource Identifiers (URIs)*. Инфраструктуры веба предоставляют модели данных, согласно которым информация сущностей может распределяться через Интернет. Это не только позволяет использовать информацию, которая распространяется через сайты, контролируемые более чем одной организацией, но и обеспечить непротиворечивость данных из различных источников. Приложения фокусируются не на презентации, но на субъекты презентации. Именно в том смысле, что эти приложения являются семантическими, инфраструктура данных позволяет любому человеку разместить часть информации, которая может быть объединена с информацией из других источников. Инфраструктура сайта должна допускать противоположные мнения или обеспечить равносильность наличия и доступа. Это заставляет нас рассматривать Интернет как «открытый мир». В этом смысле в открытом мире мы должны понимать, что новая информация может появиться в любое время. Это значит, что мы не можем делать вывод, что в данный момент нам доступна абсолютно вся информация.

Цели внедрения СВ:

✓ **Пользовательская точка зрения:** уменьшение затрат, связанных с сокращением времени накладных расходов, повышение качества результатов. Хорошо определенные и сохраненные знания могут ускорить обновление ИТ-системы, что мотивировано внутренними процедурными изменениями или внешним соблюдением правил. Новые функции и новые возможности в бизнесе.

✓ **Точка зрения разработчиков и интеграторов:** легче повышать знание за счет простого обновления, легче корректировать данные за счет того, что они сосредоточиваются.

Многие услуги, примененные в семантической технологии, уже появляются. Они являются продолжением веб 2.0: семантические социальные сети – Twine; Семантический mashup – Tripit; Семантические вики – Metaweb; Семантические блоги – Zemanta. Семантический веб ведет к открытому миру и открытым данным, таким как W3C SWEO Linking Open Data Community Project. Семантическая контекстная реклама: использование семантики для того, чтобы связывать рекламу на веб-страницах, например <http://www.peer39.com> и <http://www.adpepper.com>. Семантическая поисковая система поддерживается человеческим языком, таким как Powerset. Семантический браузер – это особый вид семантического веба инструментов (Open Link Data Explorer, MashQL и др.).

Но, по сути, СВ-приложение – это еще «мечта», которая представляет собой сложную задачу, так как существуют проблемы: масштаб информации, имеющейся в Сети; новые бизнес-модели, которые будут разработаны для использования «улучшения» информации в Интернете; слои, представившие их, еще не выполняются; приложение поддерживают СВ; идет их разработка и возникает необходимость в создании стандарта по их реализации.

Семантический веб – искусственный интеллект

Большинство технологий, необходимых для реализации СВ, основывается на работе в области искусственного интеллекта (ИИ) (artificial intelligence). Можно опасаться, что в худшем случае СВ будет повторять ошибки ИИ: громкие обещания, которые вызывают слишком большие ожидания, которым не суждено сбыться. Это беспокойство является необоснованным. Реализация СВ не полагается на человеческий уровень интеллекта. Таким образом, нет необходимости ждать, пока ИИ достигнет более высокого уровня; современные технологии ИИ уже прошли достаточно долгий путь к реализации видения СВ.

Семантический веб – веб 3.0

Ключевая идея СВ заключается в использовании машинно-понятной информации веба. Информация семантического веба структурирована и концентрирована. СВ представляет собой инициативу, направленную на улучшение текущего веба. Он повышает качество работы с текущей страницей, компьютеры могут обрабатывать информацию, представленную на WWW, интерпретировать и подключать её, чтобы помочь людям найти необходимые данные. СВ ведет к открытому миру и открытым данным. Хотя существует много препятствий, можно полностью верить в успешное будущее СВ, потому что он удовлетворяет срочные потребности пользователей, разработчиков, менеджеров. Развитию СВ уделяется значительное внимание. Огромные возможности СВ могут открыть новый период – Веб 3.0. Иными словами, мечта, названная СВ, может стать правдой, это всего лишь вопрос времени.

Литература

1. A Semantic Web Primer 2nd Edition – Grigoris Antoniou and Frank van Harmelen.
2. <http://www.w3.org>
3. Semantic Web for the working ontologist, effective modeling in RDF, RDFS, OWL – Dean Allemang and Jin Hendler.

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕДИАННЫЙ ФИЛЬТР ПОДАВЛЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО ШУМА НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Фан Нгок Хоанг, В.Г. Спицын

Рассмотрены методы подавления импульсного шума на изображениях. Результаты проведенных компьютерных экспериментов позволили установить достоинства и недостатки применения предложенного модифицированного медианного фильтра в обработке цифровых изображений.

Ключевые слова: медианный фильтр, адаптивный медианный фильтр, импульсный шум, детектор импульсного шума.

На практике изображения часто искажаются шумом, появляющимся при его получении или передаче по каналам связи. Причинами возникновения шума на изображении могут быть шум видеодатчика, сбой в работе канала связи и др. Основной задачей эффективного удаления шумов является построение некоторого приближения исходного изображения по искаженному изображению. В данной работе предложен модифицированный медианный фильтр подавления импульсного шума на изображениях.

Импульсный шум

Функция плотности распределения вероятностей импульсного шума задается выражением:

$$p(z) = \begin{cases} P_a, & z = a \\ P_b, & z = b \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

Если $b > a$, то пиксель с яркостью b выглядит, как светлая точка на изображении [1]. Пиксель с яркостью a выглядит, наоборот, как темная точка. Если одно из значений вероятности (P_a или P_b) равно нулю, то импульсный шум называ-

ется униполярным. Если ни одна из вероятностей не равна нулю и в особенности если они приблизительно равны по величине, импульсный шум можно представить в виде крупиц соли и перца, случайно рассыпанных по изображению.

Медианный фильтр

Наиболее известным из фильтров, основанных на порядковых статистиках, является медианный фильтр [1]. Действие этого фильтра состоит в замене значения яркости $f(x,y)$ в точке изображения на медиану значений яркости $g(s,t)$ в окрестности S_{xy} этой точки.

$$\hat{f}(x,y) = \text{med}_{(s,t) \in S_{xy}} \{g(s,t)\}.$$

При вычислении медианы значение в самой точке (т.е. в центре окрестности центра) также учитывается. Медианные фильтры приспособлены для подавления некоторых видов случайных шумов и особенно эффективны при наличии как биполярного, так и униполярного импульсного шума.

Адаптивный медианный фильтр

Адаптивная медианная фильтрация помогает справиться с импульсным шумом [1]. Дополнительное преимущество адаптивного медианного фильтра состоит в том, что такой фильтр «старается сохранить детали» в областях, искаженных не импульсным шумом.

Алгоритм адаптивной медианной фильтрации состоит из двух ветвей, и его действие заключается в следующем.

- Ветвь А: $A1 = z_{\text{med}} - z_{\text{min}}$;
 $A2 = z_{\text{med}} - z_{\text{max}}$.
 Если $A1 > 0$ и $A2 < 0$, перейти к ветви Б.
 Иначе увеличить размер окрестности.
 Если размер окрестности $\leq S_{\text{max}}$, повторить ветвь А.
 Иначе результат равен z_{xy} .
- Ветвь Б: $B1 = z_{xy} - z_{\text{min}}$.
 $B2 = z_{xy} - z_{\text{max}}$.
 Если $B1 > 0$ и $B2 < 0$, результат равен z_{xy} .
 Иначе результат равен z_{med} .

где z_{min} – минимальное значение яркости в окрестности S_{xy} .
 z_{max} – максимальное значение яркости в окрестности S_{xy} .
 z_{med} – медиана значений яркости в окрестности S_{xy} .
 z_{xy} – значение яркости в точке (x, y) .
 S_{max} – максимальный допустимый размер окрестности S_{xy} .

Модифицированный медианный фильтр снижения импульсного шума

Предлагаемый метод фильтрации состоит из двух шагов: определение множества точек, искаженных импульсным шумом; замена значения в каждой точке этого множества на медиану значений окрестности этой точки.

Параметр p_1 вводится для обнаружения загрязненных точек импульсным шумом. Параметры z_{min} , z_{max} – соответственно минимальное и максимальное значения яркости в окрестности S_{xy} . Точки, значение яркости которых меньше чем $(z_{\text{min}} + p_1)$ или больше чем $(z_{\text{max}} - p_1)$, является наиболее искаженными точками. Множество A_1 этих точек можно определить выражением

$$A_1 = \text{set} \left\{ (x,y) \mid \left(g(x,y) \leq z_{\text{min}} + p_1 \right) \text{ OR } \left(g(x,y) > z_{\text{max}} - p_1 \right) \right\}.$$

Множество A_2 искаженных точек определяется выражением

$$A_2 = \text{set} \left\{ (x,y) \mid \frac{\text{count}(|g(s,t) - g(x,y)| \geq p_2)}{8} \geq p_2 \right\}.$$

где p_2 – предел разности значений яркости, p_3 – предел пропорции, $g(x, y)$ – значение яркости текущей точки; $g(s, t)$ – значение яркости 8 соседних точек окрестности текущей точки.

Множество A искаженных точек импульсным шумом [2] является комбинацией множеств A_1 и A_2 .

$$A = A_1 \cup A_2$$

В данной работе значения t_1 , t_2 и t_3 соответственно равны 1,5; 0,3 и 0,7. После определения множества A , значение яркости точек этого множества заменяется на медиану значений яркости окрестности каждой точки.

Результаты численных экспериментов

Предлагаемый метод был протестирован с различной плотностью шума. Проводилось сопоставление результатов обработки зашумленных изображений предлагаемым модифицированным медианным фильтром с известными методами: медианной фильтрацией и адаптивной медианной фильтрацией. При этом определялись значения среднеквадратичного отклонения (MSE) и пикового отношения сигнала к шуму (PSNR). Значение MSE и PSNR определяются выражениями:

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{x=1}^{M-1} \sum_{y=1}^{N-1} (f(x,y) - \hat{f}(x,y))^2$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE}$$

Сопоставление результатов обработки зашумленных изображений тремя методами приведено в таблице и на рис. 1.

Для изображения «Лена» размером 256×256 пикселей медианный фильтр 3×3 занял 191 мс, адаптивный медианный фильтр с максимальной окрестностью 9×9 – 214 мс, и предлагаемый фильтр – 205 мс на компьютере с процессором Core(TM) 2 Duo 2.0 ГГц и ОЗУ объемом 2 Гб.

Значение PSNR различных фильтраций

Плотность шума, %	PSNR (dB)			
	Искаженное изображение	Медианный фильтр	Адаптивный медианный фильтр	Предлагаемый фильтр
1	27,97	29,46	31,29	31,17
2	25,15	28,93	29,82	29,72
3	23,49	28,59	28,77	28,67
5	21,19	27,91	26,76	26,67
10	18,39	26,54	23,39	23,31
20	15,51	23,33	19,45	19,41
30	13,80	20,48	17,00	16,98
50	11,63	16,17	13,89	13,89



а



б

Рис. 1. (начало)



Рис. 1. (окончание). Изображение «Лены»: *а* – исходное; *б* – искаженное шумом «Соли и перцы»; *в* – результат медианной фильтрации; *г* – результат адаптивной медианной фильтрации; *д* – результат предлагаемого метода

Заключение

По значению PSNR предлагаемый фильтр дает лучшие результаты, чем медианный фильтр, для плотности шума менее 5%. В случае плотности импульсного шума больше 5% наблюдается противоположный результат. Адаптивный медианный фильтр во всех случаях дает лучшие результаты, чем предлагаемый метод.

В продолжение данной работы предполагается создание оригинального детектора точек на изображении, искаженном импульсным шумом.

Литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. – 1070 с.
2. Ahamed J. Najeer, Rajamani V. Design of hybrid filter for denoising images using fuzzy network and edge detecting // American Journal of Scientific Research. Issue 3. 2009. P. 5–14.

УДК 004.94

ЗАДАЧА ДЕКОМПОЗИЦИИ ГРАФОВЫХ МОДЕЛЕЙ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

А.В. Погребной

Введены четыре вида графов (обыкновенные, двудольные, топологические, гиперграфы) и даны примеры их применения при построении графовых моделей распределённых систем управления. Задача декомпозиции рассматривалась для обыкновенных графов с целью оптимизации загрузки сети вычислительной системы. Для решения задачи использовался матричный алгоритм разрезания графов, который реализован на языке C# (программа CutGraf).

Ключевые слова: графовая модель, декомпозиция, матричный алгоритм разрезания графов.

Рассматриваются технические системы управления, оборудование которых представлено совокупностью объектов и размещено на заданной территории. Отношения между объектами могут характеризоваться рядом величин, таких как расстояние, наличие и качество связи, время и стоимость транспортировки грузов, а при наличии сетевых коммуникаций – их надёжность, пропускная способ-

ность, объёмы передаваемых информационных или материальных потоков, стоимость эксплуатации.

При проектировании таких систем, как правило, возникают задачи разбиения множества объектов на заданное число подмножеств так, чтобы сумма оценок отношений между объектами из разных подмножеств была минимальной (максимальной). Если совокупность объектов и отношений между ними представить графовой моделью, то данную задачу можно рассматривать как задачу декомпозиции графов на подграфы.

В зависимости от объектов, принятых в качестве вершин графов, и характера отношений, представляемых рёбрами, выделяются следующие виды графов.

Наиболее широко используются взвешенные обыкновенные графы [1]. В качестве примера применения таких моделей приведём граф передачи данных между микропроцессорными станциями (контроллерами) распределённых систем управления. Вершины графа соответствуют станциям, на которых выполняются программы прикладных функций системы, а веса рёбер соответствуют объёмам данных, передаваемых между станциями при выполнении программной нагрузки за фиксированное время функционирования системы. Для систем, функционирующих в реальном времени и выполняющих, в основном, циклически повторяющиеся процессы, характеристику объёма передаваемых данных можно считать стационарной [2].

Модель в виде двудольного графа [1] используется, в частности, при планировании выполнения программной нагрузки системы управления, представленной графом потока данных [2]. Основными элементами графа потока данных являются модули и данные, которые соответствуют двум подмножествам вершин двудольного графа. Поэтому решение, например, задачи распределения модулей и данных по станциям вычислительной системы соответствует задаче декомпозиции (разрезания) двудольного графа на подграфы так, чтобы суммарный объём данных, передаваемых между станциями, был минимальным. Помимо планирования загрузки станций, результаты решения данной задачи используются при построении упомянутого выше графа передачи данных.

Задачи, связанные с размещением станций на территории расположения объекта управления, приводят к новому виду графовой модели, названному топологическим графом. Вершинами графа в данном случае являются датчики информации и исполнительные механизмы системы управления и другие источники и потребители информации. Места расположения данных устройств (вершин топологического графа) задаются координатами и именуется терминальными точками. Требуется разместить станции так, чтобы все терминальные точки были подключены к станциям с минимальной суммой длин линий связей. Задача сводится к декомпозиции топологического графа на подмножества по числу станций. Если при этом достигается минимальная сумма расстояний между терминальными точками в подмножествах, то такое разбиение называется компактным [2].

Стремление повысить адекватность модели приводит к необходимости использовать не только бинарные отношения между объектами системы (вершинами графов), но и отношения, объединяющие более двух вершин. В этом случае в качестве модели используется гиперграф [1, 3]. Отношение, связывающее совокупность вершин, соответствует ребру гиперграфа и может отражать, например, участие этих вершин (объектов системы) в выполнении определённой функции. Другим примером может служить множество переменных (вершин) базы данных. На множестве определены совокупности вершин (рёбра), которые в ходе

работы системы оказываются востребованы одновременно. Частоты, с которыми наступают такие ситуации, могут определять веса соответствующих рёбер гиперграфа.

Задача декомпозиции для каждого из приведённых видов графов имеет существенную специфику. Нами данная задача рассматривается для обыкновенного графа на примере графа передачи данных между станциями. Решение осуществляется с целью оптимизации загрузки сети вычислительной системы для условий, когда сеть строится на основе нескольких магистралей. Каждая станция может быть подключена к одной из магистралей сети. Минимально возможная загрузка магистралей достигается в случае, если подключение станций к магистралям удастся выполнить таким образом, что между станциями, подключенными к разным магистралям, данные не передаются или их объём минимален. Это достигается решением задачи разрезания графа передачи данных на минимально связанные подграфы. В каждый подграф попадут станции, которые будут подключены к одной магистрали и, следовательно, объём передаваемых данных между станциями разных магистралей будет минимален. Передачи данных в подграфах могут осуществляться параллельно, что приводит к существенному сокращению общего времени на передачу данных в сети.

Для решения задачи был применён матричный алгоритм разрезания графов [4]. Приведены результаты исследования данного алгоритма для различных условий его применения. Для проведения исследований на языке C# в среде Microsoft Visual Studio 2008 была разработана программа CutGraf. Программа реализует матричный алгоритм и разработана так, чтобы пользователю было удобно проводить эксперименты по изучению свойств алгоритма в различных условиях. Целью исследования являлось выявление условий применения алгоритма, влияющих на качество решения задачи. Программа CutGraf позволяет получить один из возможных локальных оптимумов. Основные исследования были направлены на поиск возможности перехода от одного локального оптимума к другому и сопоставления их значений.

Последующие более глубокие исследования алгоритма и повышение его эффективности будут проведены после разработки генератора условий выполнения алгоритма для программы CutGraf. Планируется также развитие матричного алгоритма для разрезания графов других типов, в частности двудольных графов, получения компактных разбиений объектов системы, заданных координатами на топологическом поле, и решения других задач.

Литература

1. Зыков А.А. Основы теории графов. М.: КомКнига, 2004. 644 с.
 2. Погребной А.В., Погребной Д.В., Проектирование структуры локальной сети для распределённой вычислительной системы реального времени // Известия ТПУ. 2007. Т. 310, №5. С. 97–101.
 3. Корниенко А.В., Погребной В.К. Модель и алгоритм разбиения схем вычислительных устройств на функциональные блоки // УСиМ. 1976. №5. С. 94–98.
 4. Погребной В.К. Матричный алгоритм решения задачи разрезания графов // Известия ТПУ. 2007. Т. 310, №5. С. 91–96.
- УДК 535

АЛГОРИТМ ПРОГНОЗА ПОЯВЛЕНИЯ ОБЛАКОВ НА ЛИНИИ ВИЗИРОВАНИЯ

Д.А. Шутов, В.П. Галилейский, К.Г. Зувев, А.М. Морозов

Приводится краткий обзор методов прогнозирования случайных процессов. Также описан алгоритм прогноза появления облаков в определенной точке пространства через конкретное время, на базе которого разрабатывается программное обеспечение.

Ключевые слова: алгоритм, оптика, облака, прогнозирование, случайный процесс, точность прогноза.

Создание систем оптической связи, использующих атмосферный канал, затруднено без всестороннего учета свойств входных сигналов. Это обусловлено тем, что атмосфера, искажая зондирующий сигнал и вызывая появление различного вида помех на входе приемного устройства, ограничивает технические возможности оптических систем [1].

При влажности, близкой к точке насыщения, происходит образование туманов и облаков, которые из-за сильного рассеяния оптического сигнала в них представляют тяжелые условия для применения оптических систем. Туманы и облака образованы из относительно крупных водных или кристаллических частиц с размерами 0,2–100 мкм. Вследствие этого для индикатрис рассеяния характерно наличие резко выраженного ореола в области малых углов рассеяния, где сосредоточено более 60% рассеиваемой мощности [1]. Наиболее тяжелым фактором является то, что облака могут вообще не пропускать оптический сигнал, полностью рассеивая его в себе.

При различных исследовательских работах, связанных с передачей оптического сигнала, таких как отслеживание и обмен данными с космическими аппаратами, зондирование атмосферы, лазерная локация и др., возникла необходимость в наблюдении за конкретными облаками, а главное, в прогнозировании их дальнейшего поведения и местоположения. Это необходимо для того, чтобы конкретное облако не перекрыло линию визирования и не стало помехой для передачи оптического сигнала. Также актуальность данной проблемы заключается в том, что на работы по подготовке и настройке оптического оборудования необходимы большие временные и финансовые затраты, следовательно, нужна гарантия того, что атмосферная трасса, в которой предполагаются исследования, будет свободна от помех в виде облаков.

Алгоритм работы программы, осуществляющей анализ и прогноз поведения облака, основывается на методе попиксельного анализа.

Метод попиксельного анализа (статистический прогноз) дает возможность оценить будущее значение процесса по результатам наблюдения прошлых и текущих значений, используя при этом знание его вероятностных характеристик [2].

В качестве предыстории процесса, а именно движения облака и его траектории, используются стереопары изображений, на которых изображена группа облаков. Изображения получены с помощью специализированного оборудования за определенный интервал времени. В результате этого появляется возможность увидеть, как меняется траектория облака. Особенность стереоизображений заключается в том, что, используя метод триангуляции, можно вычислить расстояние до облаков и соответственно их скорость.

Алгоритм прогнозирования во многом определяется способом наблюдения над процессом. В разработанном алгоритме под «наблюдением» понимают изменение мгновенных значений процесса.

Очевидно, располагая прошлыми и текущими значениями процесса (его «предысторией»), необходимо иметь характеристику процесса, показывающую статистическую взаимосвязь между его значениями, разделенными временным промежутком. В данном алгоритме в качестве такой характеристики используется корреляционная функция.

В качестве критерия качества в разработанном алгоритме используется средний квадрат ошибки. Очевидно, что близкие значения можно предсказать с большей точностью, чем удаленные, и поэтому с увеличением времени прогноза средний квадрат ошибки будет расти.

Среди наиболее распространенных алгоритмов статистического прогноза можно выделить следующие: прогноз по последнему значению, по математическому ожиданию, по одной точке, по двум и более точкам [2].

Разработанный алгоритм базируется на прогнозе по двум и более точкам. Данный метод дает наименьшую ошибку и позволяет осуществлять более долгосрочные прогнозы по сравнению с другими. Стоит отметить, что данный алгоритм является и более сложным, поэтому планируется разделение объектов прогноза и подбор наиболее оптимального метода прогноза. На каждом снимке стереопары выбирается группа конкретных опорных точек (это могут быть объекты горизонта, звезды и т.д.), также выбирается один конкретный пиксель (точка облака) и производится анализ смещений объекта пикселя относительно этих точек, с целью дальнейшего предсказания содержимого этого пикселя в будущем. К недостаткам данного метода относится тот факт, что при наблюдении за конкретным пикселем нет возможности анализировать близлежащее пространство, в котором могут происходить различные быстротекущие или аномальные явления, которые могут повлиять на поведение всего облака в целом. То есть данный метод хорошо подходит для анализа и предсказания стационарных процессов.

В связи с этим планируется усовершенствование данного алгоритма до использования метода объектного прогноза. Данный метод прогнозирования подразумевает выделения из кадра определенного объекта. Объектом может служить облако в целом или его различные части (группы точек). Отличие от предыдущего метода заключается в том, что эти точки перемещаются с каждым кадром, нежели фиксированный пиксель. Можно выбрать точки из разных фрагментов облака, тем самым отслеживая его поведение в целом, что делает предсказанный результат более точным.

По данному алгоритму ведется разработка программного обеспечения с целью применения его на практике.

Литература

1. Орлов В.М., Самохвалов И.В., Креков Г.М. и др. Сигналы и помехи в лазерной локации / Под ред. В.Е. Зуева. М.: Радио и связь, 1985. 264 с.
2. Ефимов А.Н. Предсказание случайных процессов. М.: Знание, 1976. 138 с.

**ТРЕЙДИНГОВАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ НЕЧЕТКОЙ
КЛАССИФИКАЦИИ***Д.С. Синьков*

Представлен способ анализа торговых ситуаций на основе нечеткой классификации.

Ключевые слова: трейдинг, рынок, нечеткая классификация, технический анализ.

Трейдинг – анализ ситуации на рынке и заключение торговых сделок. В данной работе рассмотрена модель автоматической трейдинговой системы, основанной на технологии нечеткого моделирования.

Компьютерные программы уже давно и успешно используются в трейдинге. Они повсеместно применяются для автоматизации рутинных действий трейдера, а также для технического анализа. В последние пять лет появилось новое поколение софта для технического анализа.

По оценкам аналитиков, около трети всех сделок на фондовом рынке США в прошлом году было совершено не людьми, а компьютерными программами. За последние десять лет объем торгов на NYSE вырос с \$346 млн до \$1,6 млрд. Конкуренция трейдеров на фондовом рынке постепенно превращается в соревнование программистов [1].

В работе представлен способ анализа торговых ситуаций рынка «Forex» на основе нечеткой классификации по данным технического анализа.

Основная цель технического анализа – это расчет основных финансовых показателей по временному ряду цен. При создании классификатора были использованы сочетания следующих коэффициентов:

- MACD (moving average convergence divergence) – схождение / расхождение или конвергенция / дивергенция скользящих средних;
- CCI (commodity channel index) – индекс товарного канала;
- RSI (relative strength index) – индекс относительной силы.

MACD является запаздывающим и описывает оптимистичные и пессимистичные рыночные движения. Параметр RSI принадлежит классу осцилляторов и описывает импульс курса цен. CCI описывает тенденции повышения или понижения цен [2, 3].

Для создания классификатора анализа ситуации на рынке были использованы следующие данные:

- данные по значениям котировок евро и доллара за 3 дня;
- значения рассчитанных коэффициентов технического анализа.

Для создания классификатора, данная задача была формализована следующим способом:

- возможные ситуации на рынке: покупка, продажа, рынок не стабилен;
- сигнал о покупке или продаже является истинным, если изменение котировки произошло более чем на 3 пункта.

Данные за три дня торгов были получены из торгового терминала RUMUS на дилинговом центре «Forexclub» и оценены (рис. 1).

Для решения задачи классификации был применен алгоритм классификации на основе алгоритма роящихся частиц (АРЧ) [4].

После запуска алгоритма классификации система анализирует данные. В результате работы алгоритма была создана база правил для каждой ситуации, представленная на рис. 2.

Каждая лингвистическая переменная MACD, RSI и CCI была разбита на 3 термина. На рис. 3 представлено разбиение на термины для индикатора CCI.

7,9E-05	50,02	31,35	нестабильно
0,000107	55,92	54,24	нестабильно
8,8E-05	49,61	14,01	нестабильно
0,000112	55,07	29,71	покупка
0,00021	63,57	218,94	покупка
0,000267	61,08	208,75	покупка
0,000382	67,29	220,65	покупка
0,000403	58,38	138,62	покупка
0,000399	56,37	64,54	покупка

Рис. 1. Фрагмент таблицы наблюдений

Правила классификации:

	MACD	Rsi	CCI	TRAND
▶	-0,00062419439...	52,170421312729	3,612308803967...	нестабильно
	-0,00054832704...	63,16080553461...	94,32937389732...	покупка
	0,000103246503...	37,07215797627...	-45,462400434055	продажа

Рис. 2. База правил классификации состояний рынка

Термы

Название	Функция принадлежности
3,612308803967...	Тип функции: Гауссова. Параметры: (-10,2697356149505; 1620,33724244931)
94,32937389732...	Тип функции: Гауссова. Параметры: (231,864549796351; 841,246957249855)
-45,462400434055	Тип функции: Гауссова. Параметры: (-45,0243269030463; 456,462362274369)

Рис. 3. Термы лингвистической переменной CCI

По результатам классификации было распознано 65% ситуаций. База правил классификации составила 3 правила.

Затем данная модель была загружена в программе «Model Explorer» и использовалась для анализа ситуации на рынке при торговле на терминале. На рис. 4 представлена работа программы.

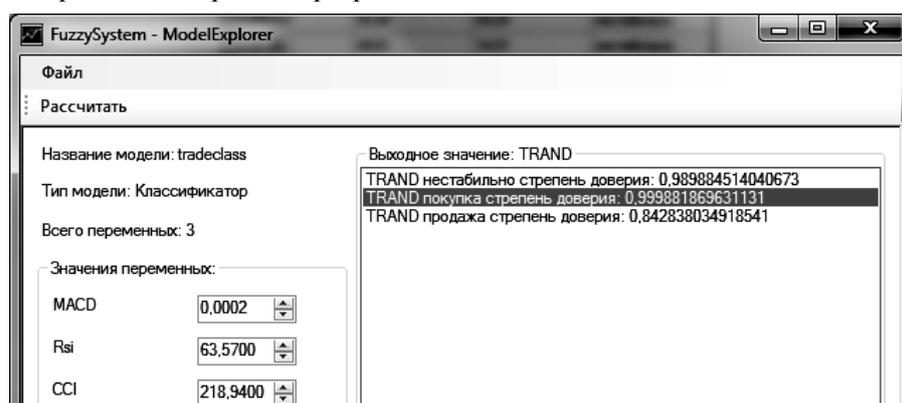


Рис. 4. Анализ рынка при помощи программы «Model Explorer»

На рис. 4 показано, что со степенью доверия 0,99988 курс доллара будет расти, следовательно, необходимо покупать доллары.

На рис. 5 показан график котировок EUR\USD. Вертикальная ось – стоимость евро в долларах, горизонтальная ось – время в минутах. Прогноз ведется в минутном интервале времени.

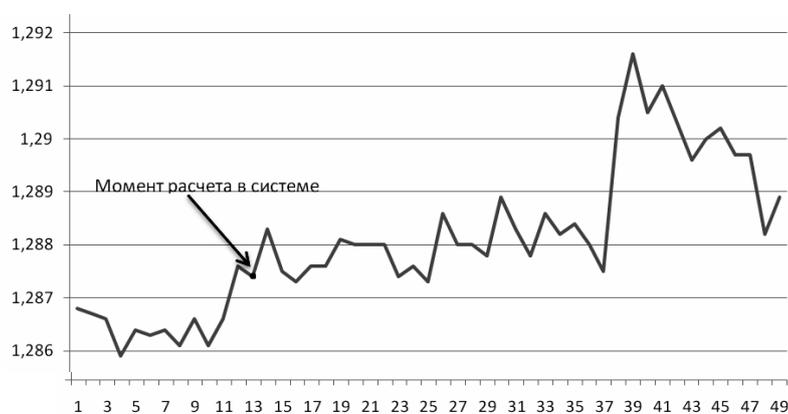


Рис. 5. Состояние рынка на момент прогноза

Для повышения точности прогноза можно использовать больше коэффициентов технического анализа и использовать АРЧ для классификации в связке с другими алгоритмами классификации и кластеризации.

Литература

1. Рождение ИИ произойдет на фондовом рынке [Электронный ресурс]. habrahabr.ru, 2010. Режим доступа к сайту: <http://habrahabr.ru/blogs/trading/4728/>.
2. Wee Mien Cheung A Fuzzy Logic Based Trading System. Econometric Institute, Erasmus School of Economics, Erasmus University Rotterdam. 2007.
3. Энциклопедия Forex [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://enc.fxeuroclub.ru/74>.
4. Ходашинский И.А. Идентификация нечетких систем: методы и алгоритмы // Проблемы управления. 2009. № 4. С. 15–23.

УДК 004.021

ОБРАБОТКА ЗАПРОСОВ В ПОВСЕМИСТНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ СРЕДЕ

Ф.А. Тузовский

Описывается подход к обработке запросов в повсеместной компьютерной среде. Разработан алгоритм работы с запросами пользователей и предложен метод трансляции запросов в язык SPARQL для осуществления поиска в онтологии.

Ключевые слова: повсеместная компьютерная среда, онтология.

Развитие информационных технологий привело к тому, что доступом в Интернет обладают уже не только персональные компьютеры, но и мобильные устройства. Однако, в отличие от пользователя персонального компьютера, владе-

лец мобильного устройства перемещается: его потребности меняются в зависимости от местоположения, а возможности по поиску информации в Web-сети ограничены.

Для обеспечения потребностей пользователей в информации рядом исследователей бы предложено создание повсеместных компьютерных сред (ПКС) [1]: сервисов, предоставляющих информацию, полезную на определённой территории.

Принципы работы ПКС

С программной точки зрения ПКС представляет собой базу знаний с программами, обеспечивающими ввод и обработку информации [2]. База знаний ПКС является модульной и состоит из трёх онтологий:

$$O_{\text{ПКС}} = \{O_k, O_{\text{п}}, O_c\},$$

где O_k – онтология контекста; $O_{\text{п}}$ – онтология пользователей и O_c это онтология сервисов. Онтология сервисов хранит метаописание существующих сервисов: их функциональность, территорию функционирования, времени работы и т.д. Онтология контекста хранит описание текущих условий: информацию о местной погоде или состоянии на дорогах. Наконец, онтология пользователей содержит метаописание пользователя: его возраст, язык, образование и предпочтения. Эти онтологии описываются на языке описания онтологий OWL, хранятся в хранилище онтологий, и к ним можно производить запросы на языке SPARQL.

Любой пользователь, обладающий смартфоном, может ввести запрос на поиск подходящих сервисов в виде набора ключевых слов, включающих четыре части и описывающихся кортежем: $\langle \text{что, где, когда, что-ещё} \rangle$ [3]. Примером такого запроса может быть «*что*: ресторан; *где*: близлежащий; *когда*: сегодня после 10 часов вечера; *что-ещё*: традиционная украинская кухня». Такой запрос на естественном языке требуется конвертировать в формальный язык запросов к базе знаний. Каким образом предлагается это производить, показано на рис. 1.

Обработка запроса

Вначале исходный запрос пользователя транслируется из полустественного языка в набор конъюнктивных предикатов $Q = p_1 \wedge p_2 \dots \wedge p_i$ на языке, основанном на RDF/OWL, который понимает и с которым может работать ПКС. На этапе формулировки запросов ПКС также проверяет полноту введенного описания запроса. Например, должны быть заданы все входные свойства некоторого сервиса и ПКС должна иметь возможность идентифицировать их.

Если семантика запроса Q является выполнимой, то ПКС будет уточнять запрос Q знаниями из базовой онтологии. Проверяется, имеются ли предусловия доступа к запрашиваемому сервису S – задано ли в описании рассматриваемого сервиса свойство предусловия, условные или определяющие отношения. Любые предусловия должны быть проанализированы на их выполнимость относительно профиля пользователя. С другой стороны, также должны быть рассмотрены правила, заданные пользователем и определяющие взаимосвязи (отношения), релевантные (относящиеся) к рассматриваемому сервису S .

Исходный запрос может быть последовательно уточнён с помощью добавления конъюнкции набора условных предикатов $CP = cp_1 \wedge cp_2 \wedge \dots \wedge cp_j$, в результате чего получается следующий уточнённый запрос:

$$Q_{\text{условный}} = Q \wedge CP.$$

Характеристики предполагаемых потребителей сервиса S , описанные пользователем предпочтения, и информация, релевантная сервису S , могут быть описаны в виде дизъюнктивных или конъюнктивных предикатов:

$$PP = (rp_1 \wedge wr_1) \vee (rp_2 \wedge wr_2) \vee \dots \vee (rp_k \wedge wr_k),$$

где rp_x – предикат сервиса S , релевантный конкретному пользователю U , а wr_x задаёт степень его важности для сервиса S и пользователя U . Это ведёт к формированию выражения

$$Q_{\text{релевантный}} = Q_{\text{условный}} \wedge PP.$$

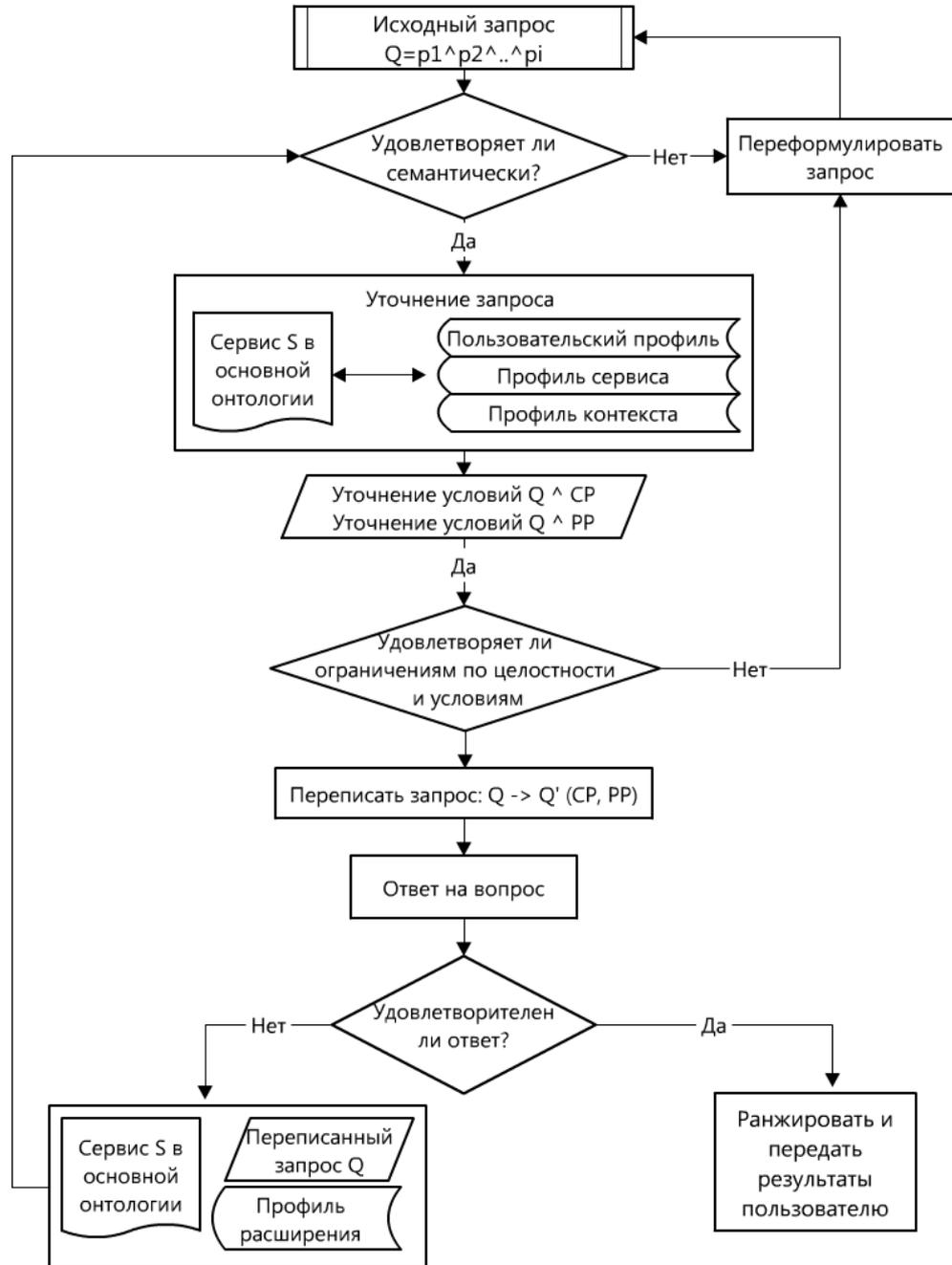


Рис. 1. Блок-схема обработки запросов в ПКС

Выражение $Q_{\text{условный}}$ содержит необходимые условия для использования сервиса S и ограничения, налагаемые пользователем к сервису S , а $Q_{\text{релевантный}}$ включает релевантную информацию, которая может помочь фильтровать и ранжировать результаты обработки запроса.

Прежде чем запрос будет переформулирован в формат SPARQL, необходимо проверить семантическую выполнимость выражений $Q_{\text{условный}}$ и $Q_{\text{релевантный}}$. Переформулированный запрос выполняется, и его результаты передаются пользователю.

Язык SPARQL – это язык запросов к семантическим данным, аналогичный языку SQL для реляционных БД. SPARQL может описывать простые поисковые запросы к RDF-графам, задавая ограничения на строковые и числовые значения субъектов, предикатов и объектов. Язык поддерживает набор типов данных и операции, которые могут использоваться для задания ограничений. В работе используется абстрактный синтаксис для преобразования конъюнктивного запроса в граф SPARQL, показанный в таблице.

Основные операции преобразования из OWL-DL в SPARQL-DL

Элемент запроса p_i в Q	Преобразование в форму SPARQL графа
Type(a, C)	$\langle a, \text{rdf:type}, C \rangle$
PropertyValue(a, p, v)	$\langle a, p, v \rangle$
SameAs(a, b)	$\langle a, \text{owl:sameAs}, b \rangle$
DifferentFrom(a, b)	$\langle a, \text{owl:differentFrom}, b \rangle$
SubClassOf(C_1, C_2)	$\langle C_1, \text{rdfs:subClassOf}, C_2 \rangle$
EquivalentClass(C_1, C_2)	$\langle C_1, \text{owl:equivalentClass}, C_2 \rangle$
ComplementOf(C_1, C_2)	$\langle C_1, \text{owl:complementOf}, C_2 \rangle$
SubPropertyOf(p_1, p_2)	$\langle p_1, \text{rdfs:subPropertyOf}, p_2 \rangle$
EquivalentProperty(p_1, p_2)	$\langle p_1, \text{owl:equivalentProperty}, p_2 \rangle$
ObjectProperty(p)	$\langle p, \text{rdf:type}, \text{owl:objectProperty} \rangle$
DataProperty(p)	$\langle p, \text{rdf:type}, \text{owl:dataProperty} \rangle$

Если исходный запрос пользователя не дал результатов, то имеет смысл ослабить переменные или понятия в исходном запросе для получения ответа – этот процесс называется расширением запроса. Учитывая специфические особенности ПКС, можно предложить следующие способы ослабления RDF триплетов:

- 1) поиск синонимов/акронимов/функционально сходных понятий или расширение переменных по некоторым ограничениям: (?парковка, рядом, 'городской сад') \Rightarrow (?парковка, рядом, 'Ново-Соборная площадь');
- 2) расширение области определения переменной: (?авто_ремонт, специализация, 'BMW') \Rightarrow (?авто-ремонт, специализация, ?x) \wedge (?x, тип, марка_машины);
- 3) расширение роли (отношения): (?авто_ремонт, специализация, ?y) \Rightarrow (?авто-ремонт, возможность_ремонта, ?z);
- 4) расширение понятия (субъекта или объекта): (?авто_ремонт, специализация, гоночная_машина) \Rightarrow (?авто_ремонт, специализация, машины).

Заключение

Рассмотренный алгоритм обработки запросов в ПКС позволяет использовать семантические данные о пользователе и контексте для обработки запросов к повсеместной компьютерной среде. Предложен подход к трансляции из абстрактного синтаксиса языка OWL-DL в синтаксис языка запросов SPARQL-DL.

Литература

1. Weiser M. The computer of the 21st century. URL: <http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/SciAmDraft3.html>
2. McGrath R. Semantic Infrastructure for a Ubiquitous Computing Environment. URL: <http://gaia.cs.uiuc.edu/papers/thesis-mcgrath.pdf>
3. Shijun Y. Contextualized and Personalized Location-based Services. URL: http://biblion.epfl.ch/EPFL/theses/2008/3896/EPFL_TH3896.pdf

УДК 004.021:004.822

АЛГОРИТМ СРАВНЕНИЯ ВАРИАНТОВ ОНТОЛОГИЙ

И.А. Заикин

Рассматривается проблема сравнения версий онтологий, графы которых содержат пустые узлы, возникающая при многопользовательском редактировании онтологий. Описывается разработанный инструмент, позволяющий нескольким пользователям редактировать набор онтологий с использованием привычного для них средства редактирования.

Ключевые слова: онтология, многопользовательское редактирование, граф, пустой узел.

В настоящее время при разработке информационных систем всё чаще используются семантические технологии. Основным компонентом таких систем являются онтологии. В отличие от традиционных информационных систем, основанных на реляционных базах данных, системы, основанные на семантических технологиях, являются более гибкими. Например, для добавления нового типа сущностей (класса) может потребоваться перестройка реляционной базы данных, в то время как в систему, основанную на онтологиях, такое изменение может быть внесено во время работы, без перестройки структуры системы.

Онтологические модели обычно поддерживаются группой специалистов, одни из которых имеют большой опыт в разработке онтологий, а другие компетентны в предметной области. В связи с этим требуется создание программных средств коллективного редактирования онтологий. При этом необходимо, чтобы специалисты по разработке онтологий могли использовать привычные для них инструменты редактирования. Вероятно, самым популярным из таких инструментов является Protégé [1]. Для специалистов в предметной области удобнее было бы использовать более простой пользовательский интерфейс для внесения изменений, связанных с предметной областью, но не позволяющий оперировать сложными конструкциями языка представления онтологий.

Постановка задачи

Под онтологией будем понимать структурную спецификацию некоторой предметной области, ее концептуальное описание в виде OWL, включающее словарь терминов предметной области и логические выражения, описывающие взаимосвязи этих понятий. Любую онтологию можно представить как RDF-граф – направленный помеченный граф, сформированный из неупорядоченного множества триплетов, также называемых утверждениями. Триплет имеет три составляющих: s ; p ; o , где s – субъект, p – предикат и o – объект триплета.

Поскольку любую OWL онтологию можно рассматривать как RDF-граф, задача сравнения онтологий сводится к задаче сравнения их RDF-графов. Пусть даны два RDF-графа G_1 и G_2 . Функции разности δ и суммы σ повсеместно используются в информатике и являются взаимно обратными, т. е.

$$G_2 = \sigma(G_1, \delta(G_1, G_2)).$$

Набором изменений $Z = \delta(G_1, G_2)$ будем называть совокупность триплетов к добавлению T_d и триплетов к удалению T_a таких, что

$$\delta(G_1, T_d) = G_1 \otimes G_2 \text{ и } \sigma(G_1, T_a) = G_1 \oplus G_2.$$

Требуется получить набор изменений Z такой, что

$$\sigma(G_1, Z) = G_2.$$

Алгоритм сравнения графов

В качестве функционала δ для сравнения двух графов G_1 и G_2 предлагается использовать следующий алгоритм:

Шаг 1. Копирование триплетов графа G_1 в T_d .

Шаг 2. Копирование триплетов графа G_2 в T_a .

Шаг 3. Удаление одинаковых триплетов из T_d и из T_a .

Сравнение графов, содержащих пустые узлы

Помимо именованных узлов, в RDF-графах могут встречаться пустые узлы. Стандарт RDF [2] определяет пустые узлы (blank nodes, b-nodes) как узлы, не имеющие имени (не являющиеся ни URI-ссылкой, ни литералом). В [3] показано, что однозначное сравнение триплетов, содержащих пустые узлы, в общем случае невозможно, хотя и существуют алгоритмы проверки изоморфности графов [4, 5].

Для решения этой проблемы был предложен рекурсивный алгоритм идентификации пустых узлов. Идентификатор строится из имён рёбер, связанных с данным узлом, и имён соответствующих узлов. Также он зависит от типа пустого узла, который определяется исходя из признаков, определённых в [6]. Экспериментальным путём были выделены следующие типы пустых узлов:

- 1) список;
- 2) аксиома (*owl:Axiom*);
- 3) ограничение (*owl:Restriction*);
- 4) взаимное различие (*owl:AllDifferent*);
- 5) объединение (*owl:unionOf*);
- 6) пересечение (*owl:intersectionOf*);
- 7) дополнение (*owl:complementOf*);
- 8) перечисление (*owl:oneOf*);

Вычисление идентификатора выполняется в 4 шага:

Шаг 1. Получить список рёбер и узлов, связанных с данным узлом.

Шаг 2. Определить тип узла.

Шаг 3. Сформировать идентификатор из имени типа узла, имён рёбер и узлов, специфичных для этого типа.

Шаг 4. Добавить к идентификатору оставшиеся связи, отсортированные в алфавитном порядке.

При сравнении графов, содержащих пустые узлы, для каждого узла строится идентификатор. Триплеты считаются одинаковыми, если идентификаторы субъектов, предикатов и объектов совпадают.

Примеры идентификаторов:

- Axiom: «User rdfs:subClassOf Person»
rdfs:comment=«User is also a person»

- `Restriction: owl:onProperty=passwordHash owl:onDataRange=xsd:string owl:qualifiedCardinality=1` Sub-classes: User

- `All different: (Female, (Male, rdf:nil))`

- `One of: (Female, (Male, rdf:nil)) Equivalent: Gender`

Заключение

Рассмотренный алгоритм сравнения онтологий позволяет находить изменения между двумя онтологиями, графы которых содержат пустые узлы, которые затем могут быть применены к третьей онтологии. Это позволяет использовать предложенный алгоритм при коллективной работе над онтологиями.

В результате проделанной работы разработан программный инструмент *Graph Manager* для коллективной работы специалистов по разработке онтологий. Он позволяет:

- загрузить онтологии их хранилища (*checkout*);
- записать локальные изменения в хранилище (*commit*);
- обновить локальную копию (*update*);
- добавить онтологию в локальную копию (*add*);
- удалить онтологию из локальной копии (*delete*);
- отобразить локальные изменения (*diff*);
- отменить локальные изменения (*revert*).

При выполнении операций *commit*, *update* и *diff* используется предложенный алгоритм сравнения графов. В качестве хранилища онтологий используется решение OpenLink Virtuoso [7]. В качестве программного интерфейса для доступа к хранилищу – библиотека с открытым исходным кодом dotNetRDF [8]. Для работы с онтологией через веб-интерфейс разработан семантический веб-портал. Архитектура системы представлена на рис. 1.

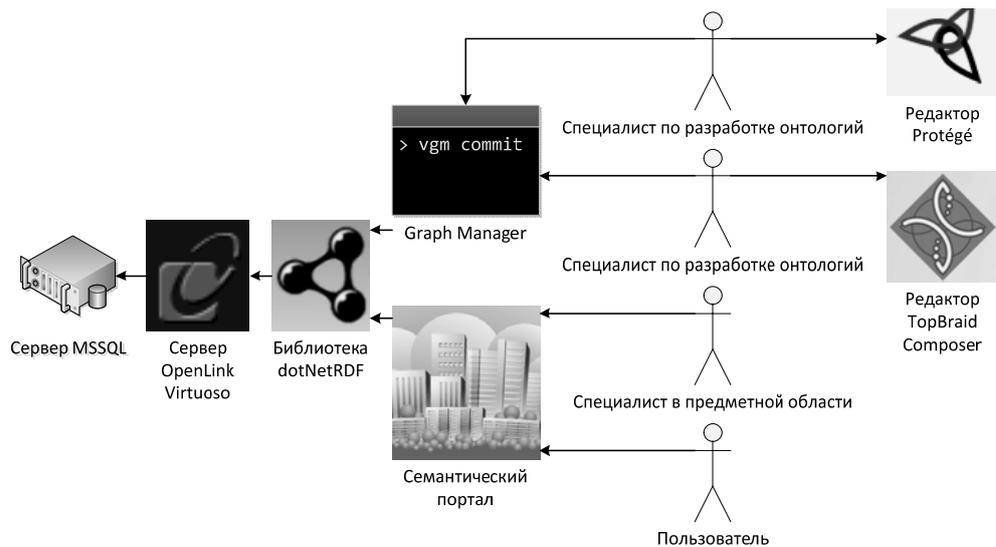


Рис. 1. Архитектура системы

Литература

1. The Protégé Ontology Editor and Knowledge Acquisition System. URL: <http://protege.stanford.edu/> (дата обращения: 18.06.2010).

2. Klyne G., Jeremy J. Resource Description Framework (RDF): Concepts and Abstract Syntax. URL: <http://www.w3.org/TR/2004/REC-rdf-concepts-20040210/> (дата обращения: 28.06.2010).
3. DeltaView // ESW Wiki, 12.11.2007. URL: <http://esw.w3.org/DeltaView> (дата обращения: 21.06.2010).
4. Carroll J. Matching RDF-Graphs, 26.11.2001. URL: <http://www.hpl.hp.com/techreports/2001/HPL-2001-293.pdf> (дата обращения: 21.06.2010).
5. Jena Semantic Web Framework. URL: <http://jena.sourceforge.net/> (дата обращения: 22.06.2010).
6. Patel-Schneider P.F., Hayes P., Horrocks I. OWL Web Ontology Language. Semantics and Abstract Syntax. W3C Recommendation 10 February 2004. URL: <http://www.w3.org/TR/owl-semantics/> (дата обращения: 25.06.2010).
7. Virtuoso Universal Server. URL: <http://virtuoso.openlinksw.com/> (дата обращения: 30.06.2010).
8. dotNetRDF Open Source Library. URL: <http://www.dotnetrdf.org/> (дата обращения: 30.06.2010)

УДК 004.822

РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ РАБОТЫ С БАЗОЙ ЗНАНИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

А.А. Зарипов

Описана архитектура подсистемы, реализующей базовые методы хранения и работы с онтологическими моделями. Предложен интерфейс и структура подсистемы. В качестве сервера для хранения онтологий выбрана система Virtuoso Universal Server, разработка выполнена на платформе Microsoft .Net 3.5.

Ключевые слова: семантическая паутина, онтология, база знаний, RDF, OWL, SPARQL, SPARUL.

В настоящее время в сфере разработки информационных систем наблюдается переход от использования реляционных БД к работе с онтологическими базами знаний (ОБЗ). В основе ОБЗ лежит онтология – описание предметной области. Она включает в себя классы (понятия) и описание взаимосвязей между ними. Вторым неотъемлемым элементом ОБЗ является множество экземпляров понятий. Для описания онтологий и экземпляров понятий в настоящее время активно используется Web Ontology Language (OWL), являющийся подмножеством Resource Description Framework (RDF) – базового формата представления данных и метаданных в концепции семантической паутины. RDF представляет утверждения в виде троек <субъект, предикат, объект>, называемых триплетами. Для удобства триплеты часто объединяют в именованные множества, называемые графами. В этом случае атомарной единицей хранения является кортеж (квад) <граф, субъект, предикат, объект>.

В связи с этим актуальным является разработка подсистем доступа к данным и хранения данных, которые могли бы служить основой для разнообразных информационных систем. Упрощенно предполагаемая структура таких информационных систем показана на рис. 1.

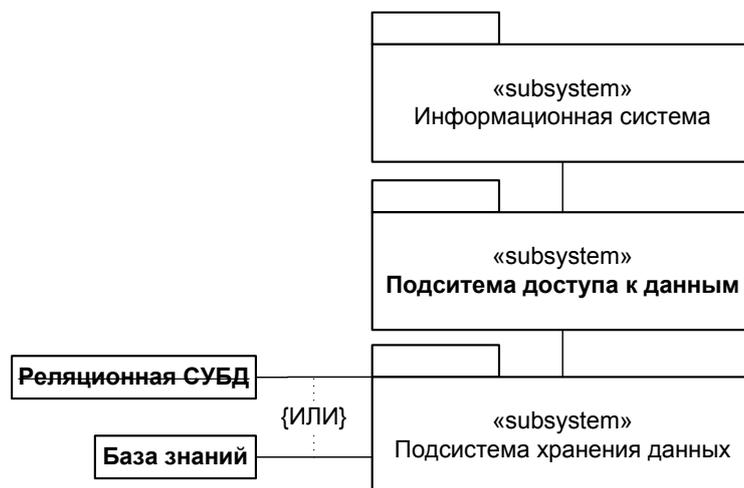


Рис. 1. Варианты структуры информационной системы

Выбор подсистемы хранения данных

Основой разрабатываемой системы должно стать хранилище метаданных. Данное хранилище должно обеспечивать возможность работы с большими объемами данных.

На данный момент существует несколько продуктов, предназначенных для хранения RDF: Intellidimension Semantics.Server, AllegroGraph RDFStore, BigOWLIM, PelletDB, Virtuoso Universal Server.

После изучения характеристик и проведения ряда сравнительных тестов в качестве хранилища метаданных на данном этапе был выбран Virtuoso Universal Server. Основными достоинствами данной системы являются:

1) Наличие бесплатной версии «Open-Source Edition». В отличие от платной версии, она не поддерживает интеграцию с внешними базами данных (виртуальные базы данных) и репликацию. Но используется одинаковый формат файлов базы данных и существует возможность миграции на платную версию.

2) Наличие встроенного SPARQL endpoint, реализующего протокол выполнения SPARQL запросов [1] и поддерживающего стандарт сериализации результатов SPARQL запросов в JSON [2].

3) Поддержка протокола SPARQL/Update для редактирования триплетов в хранилище [3].

4) Высокопроизводительная система логического вывода с динамической материализацией, обрабатывающая следующие предикаты: owl:sameAs, owl:equivalentClass, owl:equivalentProperty, owl:InverseFunctionalProperty, rdfs:subClassOf и rdfs:subPropertyOf. Начиная с версии 6.0, также поддерживаются предикаты owl:inverseOf, owl:SymmetricProperty и owl:TransitiveProperty.

5) Quad-based хранилище. Данные в семантическом хранилище Virtuoso Universal Server хранятся в виде квадов.

6) Возможность работы с большими объемами данных. Например, под управлением Virtuoso Universal Server работает одно из хранилищ Linked Open Data объемом более 9 млн квадов.

7) Virtuoso Universal Server может быть развернут на следующих платформах: Windows (32 & 64 Bit), Mac OS X, Linux (32 & 64 Bit), Solaris.

8) Наличие бесплатной библиотеки Virtuoso ADO.NET 3.5 Data Provider (virtado.dll), обеспечивающей работу с хранилищем Virtuoso средствами ADO.NET Entity Framework [4].

Разработка подсистемы доступа к данным

В результате анализа требований, предъявляемых к подсистеме, были определены следующие компоненты:

1) CoreBase – описывает интерфейс IQuadStore, с помощью которого будет осуществляться работа с другими компонентами системы.

2) CoreConverters – содержит вспомогательные методы, упрощающие построение SPARQL запросов (задание шаблонов графов и триплетов, работу с URI объектов) и работу с их результатами (конвертацию различных структур, например, List, Dictionary).

3) CoreVirtuoso – содержит класс VirtuosoStore, реализующий интерфейс IQuadStore для доступа к серверу Virtuoso через его SPARQL endpoint;

Помимо этого, в подсистеме используется библиотека классов dotNetRDF.dll, содержащая API для работы с RDF-графами и поддерживающая различные хранилища метаданных. В библиотеке определены интерфейсы INode, IGraph, ITripleStore. Библиотека доступна под лицензиями GPL, LGPL или MIT [5].

Основные используемые классы представлены на рис. 2.

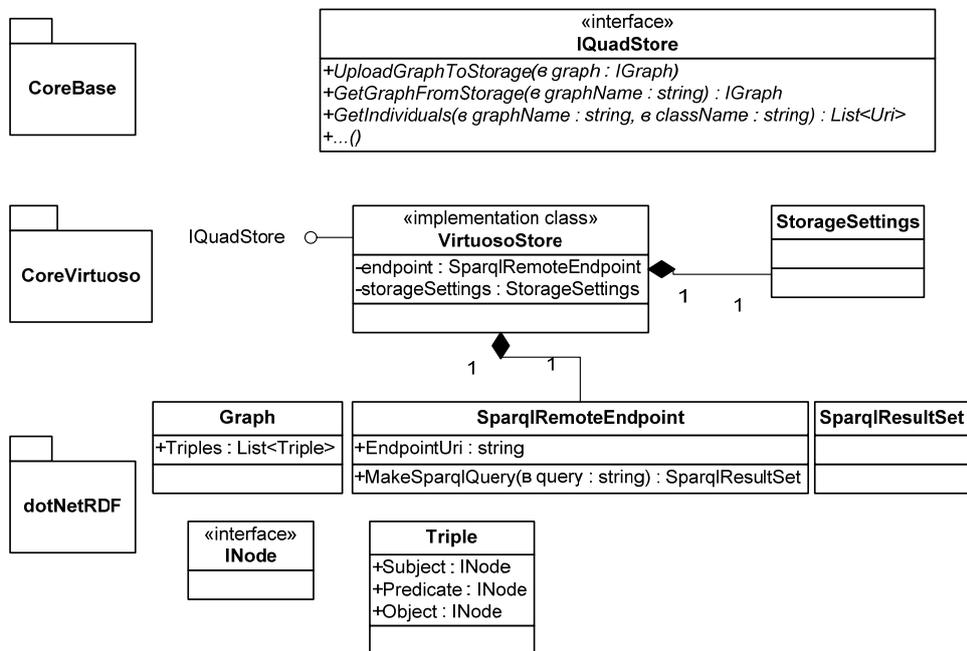


Рис. 2. Диаграмма классов подсистемы доступа к данным

В результате проведенного анализа требований к подсистеме доступа к данным определен интерфейс IQuadStore, содержащий:

1. Методы редактирования информации – методы, предназначенные для загрузки и редактирования информации в ОБЗ. В них используются формы запросов, определенные в расширении SPARQL – SPARQL/Update (SPARUL): INSERT, INSERT DATA, DELETE, DELETE DATA, MODIFY, CLEAR [2].

2. Методы получения информации. На данном уровне системы ведется работа с сущностями OWL, а именно с классами, экземплярами классов, объективными и простыми свойствами, а также сущностями RDF, такими как вершины (ресурсы), триплеты и графы. Запросы осуществляются с помощью стандартных форм запросов SPARQL: SELECT либо ASK.

Диаграмма компонентов подсистемы доступа к данным при использовании ОБЗ на основе Virtuoso Universal Server представлена на рис 3.

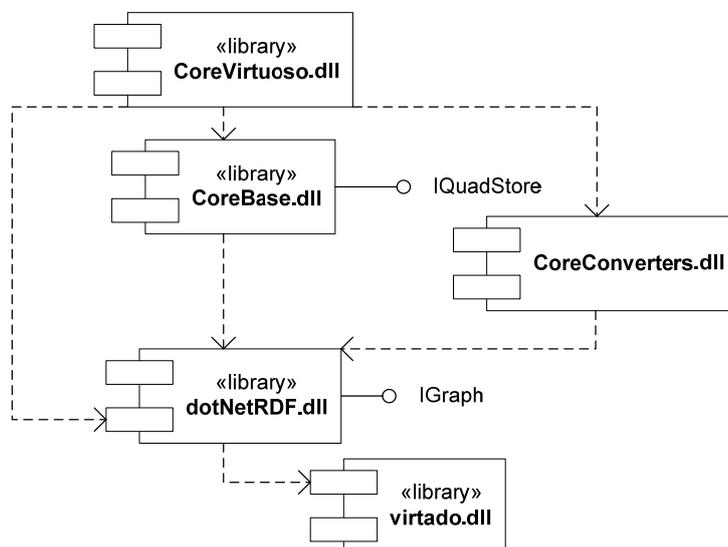


Рис. 3. Диаграмма компонентов подсистемы доступа к данным

Заключение

Предложенная архитектура ядра делает его не зависимым от конкретной предметной области и дает возможность использовать его в системах, предназначенных для предприятий или организаций различного профиля. Это достигается тем, что специфичная для конкретной предметной области информация содержится в онтологии, загружаемой в хранилище.

Литература

1. SPARQL Protocol for RDF [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.w3.org/TR/rdf-sparql-protocol/
2. Serializing SPARQL Query Results in JSON [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.w3.org/TR/rdf-sparql-json-res/
3. SPARQL Update. A language for updating RDF graphs [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.w3.org/Submission/SPARQL-Update/
4. Virtuoso ADO.NET 3.5 Data Provider [Электронный ресурс]. Режим доступа: virtuoso.openlinksw.com/dataspace/dav/wiki/Main/VirtAdoNet35Provider
5. dotNetRDF Open Source Library [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.dotnetrdf.org

АКСЕЛЬ ИВАНОВИЧ БЕРГ И ЕГО РОЛЬ В ОРГАНИЗАЦИИ КАЛУЖСКОГО ФИЛИАЛА ВНИИ-108

Ю.М. Ерофеев

Академик Аксель Иванович Берг, будучи заместителем председателя созданного в июле 1943 г. Совета по радиолокации при Государственном Комитете обороны СССР директором, с 1947 по 1957 гг., Все-союзного научно-исследовательского института радиолокации ВНИИ-108, головного в области радиолокации и противорадиолокации, а также, одновременно, с 1953 по 1957 г., заместителем министра обороны СССР по радиоэлектронике, «сыграл решающую роль в организации и развитии радиоэлектронного комплекса страны» [1, с. 9]. Ему принадлежит и идея создания Калужского филиала ВНИИ-108.

С августа 1944 г. в ведении в НИИ-108 был совхоз «Протва» Угодско-Заводского района, удобное расположение которого в пойме реки Протвы, по замыслу А.И. Берга, можно было использовать для организации испытательной базы института. На территории совхоза в 1947 г. начал функционировать пионерский лагерь «Солнечный» и испытательные участки – «Протва», «Трясь» и «Арефьево», которые подчинялись отделу полигонных испытаний НИИ-108. Во второй половине 50-х годов одним из острых вопросов стал вопрос о расширении научно-производственных мощностей, в том числе и в направлении радиоэлектронного подавления РЛС.

Аксель Иванович стал появляться на берегах Протвы уже в мае 1941 г., что следует из фотографии, лично им датированной.



Аксель Иванович Берг в лесу у Протвы (снимок мая 1941 г.; датировка А.И. Берга)

Несколько слов по поводу этого снимка. Хотя он и датирован лично А.И. Бергом, не думаю, что поставленная им дата точна: не мог быть Аксель Иванович в окрестностях Протвы в мае 1941 г.; он находился в Ленинграде. «1 мая он сетует: «Демонстрация прошла под снегом. Мороз, снежная пурга. Адмиралы в новой форме – в мундирах с золотым шитьем и в фуражках с золотыми козырьками... Только я еще не успел получить обмундирование: имею буднич-ный вид и ношу устаревшую форму. Погода холодная. Мерзну. Лета еще не видно» [2, с. 163]. И.Л. Радунская, которая в своей книге [2] привела эту дневниковую запись А.И. Берга, снабдила ее таким комментарием: «Разве в другое время Берг обратил бы внимание на то, кто как одет?... А вот поди же, 1 мая 1941 года он сетует...» Мне представляется, что дело было в дру-



Инженер-адмирал, академик
Аксель Иванович Берг (1983–1979)

гом: А.И. Берг ожидал, когда с прежде присвоенного звания – инженер-флагман 2-го ранга – его переведут на звание, соответствующее новой, вводимой таблицы о рангах. Новое-то звание присваивается решением Совнаркома! Он ведет лекции и семинарские занятия, обдумывает новый курс – методы радиообнаружения. И так – до 22 мая. «Встал в 5 часов. Не мог почему-то спать. На днях сгорел конденсатор в приемнике, дал его починить и вчера вечером получил обратно исправленным. В 6-м часу включил радиоприемник и сразу же услышал, совершенно неожиданно, что Совнарком присвоил мне звание инженер-контр-адмирала. Ура! Марьяша¹ спала. Ей снился сон про меня и Сталина... Она проснулась в смутении и вдруг услышала по радио мое имя. Какое-то чудо! Моя фотография появилась во всех газетах.

Весь день звонки по телефону, почтальоны несут письма и телеграммы с поздравлениями. Настоящий праздник. Видно, все мои друзья рассматривают случившееся как окончательную реабилитацию после незаслуженного несчастья. Интересно, что это первый приказ по наркомату обороны, подписанный новым Народным Комиссаром Обороны И.В. Сталиным. Неужели кончатся мои мытарства? Неужели и вправду я могу постепенно забыть про несчастья?» [2, с. 164]. Вероятно, на берегах Протвы он появился уже после его утверждения и.о. начальника в НИИ-108, после выхода постановления ГОКО СССР «О радиолокации». Сидит-то он в редколесье, на пеньке, оставшемся на участке какой-то вырубки, и выбирает место предстоящих лесозаготовок для нужд строительства своего института НИИ-108. Ведь в п. 15 прил. №1 к постановлению ГОКО №5647 записано: «Обязать Наркомзаг СССР (т. Субботина) разрешить ОРСу НИИ-108 производство децентрализованных заготовок в районах Московской области». А в п. 15 этого постановления озвучена такая фраза: «Обязать Главснаблес при СНК СССР (т. Лопухова) выделить за счет любых потребителей и поставить Наркомстрою для строительства НИИ-108 НКЭП во II квартале 1944 г.: леса круглого – 600 м³, леса пиленого – 800 м³, фанеры клееной – 20 м³».

В середине 60-х годов его поездки в Протву участились, и для заместителя Министра обороны был построен специальный «берговский» домик на берегу озера Огублянка – просторный, сухой, крытый листьями шифера.



Домик Акселя Ивановича Берга на берегу озера Огублянка

¹ Марианна Ивановна Берг (Пензина), дочь унтер-офицера, вторая жена Акселя Ивановича, мать его дочери Марины Акселевны.

У этого домика и произошла в 1959 г. моя первая встреча с Акселем Ивановичем. Я был принят на работу в «сто восьмой» в начале марта 1959 г. Зачислен я был в группу Б.Д. Сергеевского² и сначала, вместе с М.П. Морозниковой³ и Цырен-Даши Зодбоевым⁴, разрабатывал ВЧ-усилители, работающие на принципе «бегущей волны». Но вскоре по постановлению правительства был открыт заказ «Резеда» по разработке нескольких литеров аппаратуры имитационных ответных помех, и вся наличная молодежь переключилась на разработку этого правительственного заказа. Литер «Резеда-А», трехсантиметрового диапазона, имел систему управления с секторами излучения ответной помехи: передний сектор, задний левый, задний правый, чтобы излучать помеху именно в тот сектор, откуда приходили зондирующие импульсы РЛС. Я был ответственным за разработку этой системы управления секторами излучения.

Информационное обеспечение этой системы осуществляла аппаратура «Сирена», разработанная институтом ранее и уже выпускавшаяся серийно на одном из сибирских заводов. А для управления приемным и передающим трактами станции помех были предусмотрены блоки 13–9 и 13–10, с двумя двухпозиционными переключателями роторного типа в каждом, в эксплуатации довольно ненадежные, с искрящими контактными парами, то и дело требующие регулировки.

Главным конструктором аппаратуры «Резеда» был назначен Евгений Кузьмич Спиридонов, боевой офицер, на фронте командовавший РЛС «Редут», человек, делу преданный, готовый ради ускорения работы даже на поступки с долей авантюризма. Своего заместителя по хозяйственной части он, например, при отлете с Ахтубинского полигона инструктировал так: – Я минут на 10–15 задержусь. Ты доложи пилоту: мол, генерал-полковник Спиридонов, он сейчас у Вашего командования, минут на 10–15 задержится, просьба на это время задержать вылет... И тот, подойдя к пилоту, начинал нашептывать :...генерал-полковник Спиридонов... просит задержать вылет не больше чем на 15 минут... Генерал-полковник, конечно, величина. Пилот чертыхался: Мне же за вылет не по расписанию ох как нагореть может!

Спиридонов вскоре после назначения на должность главного конструктора «Резеды» стал полковником, а тогда и полковником-то еще не был, был или майором, или подполковником. До генерал-полковника ему было далековато.

Когда все места были заняты, зам. по хоз. части постучал в кабину командира корабля, докладывая: Все на месте.

Элемент авантюризма Е.К. Спиридонов проявил и на этот раз. Он сказал мне: «Юра, сейчас Берг здесь, вон его машина стоит у домика. Ты подойди к нему и попросись: думаю, он взять тебя не откажет. Сегодня будешь в Москве, зав-

² Б.Д. Сергиевский (1919 г.р.), д.т.н. (1971), профессор (1990), заслуженный ветеран труда ФГУП «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга» – его дата поступления в институт 5.10.1943 г., почетный радист.

³ М.П. Морозникова (1926–1995), д.т.н. (1970), член ученого совета «сто восьмого», специалист в области шумовых помех и шумоподобных сигналов. Скончалась от рака. Похоронена на Рогожском кладбище Москвы.

⁴ Ц.-Д. Зодбоев, в эти годы – подполковник-инженер, старший научный сотрудник «сто восьмого». Ветеран «сто восьмого» Л.В. Михайлов вспоминал, как после демобилизации он, в присутствии Л.И. Буняка и Л.В. Михайлова, рассуждал: «Возможно, мне придется возглавить правительство Тувы...» В своей Туве он пользовался авторитетом.

тра проведешь регулировку тринадцатых блоков, а послезавтра на электричке вернешься с отрегулированными».

Сам я проситься к Бергу просто не рискнул бы: кто я такой, чтобы ездить с А.И. Бергом!

С двумя блоками под мышкой стою у берговской машины.

Выходят двое. Один лысый, в черном костюме, белой рубашке и галстук. Это и есть А.И. Берг. Второй – с ногами, приделанными к туловищу как на шарнирах. Это Александр Михайлович Кугушев, много лет замещавший А.И. Берга во время его болезней и командировок, а в 1955 г. перешедший на педагогическую работу в МВТУ им. Н.Э. Баумана, где уже несколько лет работал по совместительству.

Аксель Иванович ответил простецки: «А чего не взять? Место в машине есть, садитесь вон на заднее сиденье за водителем. Я выйду раньше, а Александру Михайловичу надо сегодня быть в МВТУ, он по пути Вас в «сто восьмой» завезет».

Всю дорогу мне пришлось рассказывать А.И. Бергу и А.М. Кугушеву о своей учебе и работе в МАИ, на кафедре АР-2, у профессора А.П. Жуковского; в общем, время в пути прошло незаметно.

А потом, в 1972 г., я был переведен на должность ученого секретаря предприятия, и наши встречи с Акселем Ивановичем стали более частыми, потому что он был в эти годы председателем нашего ученого совета.



Но вернемся опять к судьбе калужского филиала предприятия. Его директором в августе 1964 был назначен К.К. Геометров⁵, который ранее, с 1951 г., «возглавлял организационные структуры службы радиопротиводействия в составе главного штаба войск ПВО страны» [1, с. 52]. Главным инженером в октябре 1958 г. был назначен Николай Павлович Емохонов.

Приезд Акселя Ивановича Берга в Протву в 1965 г. Слева направо:

А.И. Берг, Н.П. Емохонов – директор ЦНИИ-108, С.И. Бабурин – главный инженер филиала. Фрагмент групповой фотографии

Несколько слов о нем. Он вскоре был отозван в НИИ-108, и, получив звание генерал-майора авиации, был назначен на пост директора института. Вот эта тройка дружной группой стоит, рассматривая протвинские строения: Аксель Иванович, в черном берете, руки в карманы (прохладно все-таки, руки зябнут);

⁵ «Группу возглавлял полковник Ершов, с ним были... полковник Геометров, о котором тут же был сочинен стишок: «До чего противно рыло Геометрова Кирилла» (см. [4]).

Николай Павлович Емохонов, тогдашний директор «сто восьмого»; Сергей Иванович Бабурин, главный инженер филиала. Потом, уже в несколько ином порядке, сидят перед телевизором: Н.П. Емохонов, А.И. Берг, В.П. Воровской.



Н.П. Емохонов,
А.И. Берг и В.П. Воров-
ской в «берговском»
домике

В истории ФГУП «КНИРТИ» Василий Петрович Воровской, ныне полковник в отставке, житель г. Сочи, прославился тем, что именно он издал первый приказ (приказ №1) о создании филиала НИИ-108: «в 1957 г. было принято решение о создании на базе 93-го полигона филиала 108-го института МО. Я издал первый приказ о создании филиала института 17 сентября 1957 г.». «Я, – пишет он в своих воспоминаниях [1, с. 25], – был назначен заместителем начальника филиала (А.А. Полякова) по полигонным испытаниям. Вскоре мне была подчинена авиация института, базирующаяся в Ермолино». Отмечает он и такую деталь: «В 1957 г. в район приезжал первый помощник министра обороны СССР маршала Г.К. Жукова – генерал Китаев. Он передал просьбу маршала Жукова найти в селе Угодск могилу его отца. Могилу мы с трудом нашли, сообщили об этом в Москву. Вскоре там был установлен памятник». Отец маршала Победы родился и жил в деревне Стрелковка, ставшей впоследствии, в память о маршале, городом Жуковом Калужской области.

На следующей фотографии – еще одна сцена: г. Жуков Калужской области. День города в 2003 г. Вручение диплома – посмертно – «Почетный гражданин г. Жукова» А.И. Бергу. Вручается он родственникам академика. Слева направо: И.И. Благодатских – глава администрации Муниципального округа «Жуковский район», Р.П. Берг – вдова А.И. Берга, Маргарита Берг – дочь А.И. Берга, Маша и Алла – внуки.

Одной из разработок, проведенных филиалом «сто восьмого», стала разработка «Смальта» [3], предопределившая успех в противостоянии ЗРК «ХОК» в ходе «шестидневной» войны на Ближнем Востоке. Ветеран ФГУП «КНИРТИ» инженер-полковник в отставке А.С. Русаков в статье «История создания экспериментальных образцов САП «Смальта» и результаты их применения» [1, с. 89] так излагает данные о начале этой работы: «В середине марта 1970 г. утром позвонил директор ЦНИРТИ Юрий Николаевич Мажоров и приказал срочно прибыть в Москву. В то время я работал главным инженером КНИРТИ. На вопрос о срочности поездки он ответил, что это не телефонный разговор, приедешь – узнаешь, и в шутку добавил: «Не забудь прихватить свою голову» (давая понять,

что именно для головы и найдутся вопросы, требующие решения. – Ю.Е.). Через два с небольшим часа я был у него в кабинете. Он сразу вызвал Александра Алексеевича Зиничева (в то время – заместитель главного инженера ЦНИРТИ) и попросил ввести меня в курс дела, обсудить все вопросы и доложить ему результаты обсуждения. А проблема состояла в том, что в египетско-израильской войне египетская авиация (советского производства) не могла и «носа сунуть» на территории, контролируемые израильскими войсками. Американское ЗРК «ХОК» с дальностью до 70 км обеспечивали, практически с вероятностью 100%, сбитие самолетов, т.к. не было на борту этих самолетов систем вооружения, которые позволяли бы с таких дальностей поражать наземные и воздушные цели.



День г. Жуков в 2003 г.

Не было на борту самолетов и средств радиотехнического противодействия, способных эффективно противостоять таким системам, как ЗРК «ХОК». Таких средств не было не только на вооружении, но и в разработке, поскольку не было заявок от Министерства обороны на разработку подобных средств, хотя были сведения по оснащению американских самолетов системами, аналогичными по принципу действия комплексу «ХОК».



Ветеран филиала «сто восьмого»
инженер-полковник в отставке А.С. Русаков

Индивидуальные средства РПД, размещаемые на летательном аппарате, не только были абсолютно неэффективными, но и «вредными», поскольку излучали сигналы, значительно превосходящие по мощности отраженный сигнал, что обеспечивает более раннее обнаружение летательного аппарата и более уверенное сопровождение и наведение средств поражения. Именно при обсуждении этого аспекта Александр Алексеевич с юмором рассказал, что он читал официальный отчет о совместных учениях ПВО и ВВС, где было сказано, что ПВО пропустили самолеты через защищаемую зону, поскольку летчики не включили станции помех «Сирень» и потому наземные РЛС очень поздно обнаружили самолеты, (Весь юмор ситуации состоял в том, что аппаратура помех «Сирень» должна была противодействовать обнаружению, а получилось так, что летчики, не включившие станции помех «Сирень», стали виновниками в запоздании обнаружения самолетов. – Ю.Е.)

У нас с А.А. Зиничевым было одинаковое мнение, что при современном уровне развития радиотехнических систем управления оружием индивидуальные помехи с борта летательного аппарата не только бесполезны, но и вредны. Однозначное мнение у нас с ним было и о том, что наиболее эффективным способом подавления ЗРК «ХОК» будет создание помехи из вынесенной точки с расстояния, превышающего дальность действия комплекса. А.А. Зиничев ознакомил меня с расчетами, которые показывали, что с расстояния 100 км возможно подавление и РЛС подсвета цели, и головок самонаведения ракет, одновременно 3 комплексов, размещенных друг от друга примерно в 15 км, и эффективно осуществлять это подавление до подлета защищаемого самолета к ЗРК «ХОК» на расстоянии 10 км. Этим определялись параметры диаграмм направленности антенн станции помех. Расчет показывал, что при этом достаточно на входе передающей антенны иметь мощность в несколько десятков ватт. При спектре излучаемого сигнала с несущей частотой, равной частоте станции подсвета, в несколько десятков килогерц, который перекрывал бы весь диапазон доплеровских частот, определяемый диапазоном скоростей прикрываемых летательных аппаратов. Поскольку РСЛ подсвета имела один режим работы – непрерывное излучение СВЧ-сигнала, не требовалась система определения и воспроизведения несущей частоты, и именно этот факт позволил излучать узкополосный сигнал, с шириной спектра, равной диапазону доплеровских частот, и тем самым обеспечить высокую спектральную плотность помех при сравнительно малом уровне выходной мощности. Если бы понадобилось определять и воспроизводить принимаемую несущую частоту, то для получения нужной спектральной плотности помехи требовалась бы выходная мощность станции помех примерно на три порядка больше... Именно непрерывное излучение сигнала подсвета цели было самым слабым местом в комплексе «ХОК».

Параметры подлежащей разработке станции помех можно было реализовать на базе широкополосного усилителя-ретранслятора, обеспечивающего уверенный прием сигналов РЛС подсвета ЗРК «ХОК» с расстояния до станции подсвета примерно 100 км, усиления его до нескольких десятков ватт, модуляции его шумовым сигналом со спектром в несколько десятков килогерц и излучения в направлении РЛС подсвета ЗРК «ХОК». При этом диаграмма направленности передающей антенны по углу места должна обеспечивать прикрытие летательного аппарата с расстояния его до ЗРК «ХОК», равного примерно 80 км, и до расстояния примерно 10 км (расстояние, с которого ЗРК «ХОК» не хватало бы времени для решения задачи наведения и пуска ракеты по летательному объекту). По

азимуту приемная и передающая антенны должны обеспечить одновременную работу не менее чем по трем ЗРК «ХОК», размещенным примерно на расстоянии 15 км друг от друга.

Мы пришли к выводу, что такая аппаратура могла быть быстро реализована на базе станции «Сапфир-1» путем замены импульсной ЛБВ в оконечном каскаде выходного блока на «непрерывную» ЛБВ типа «Шасла-1М», с разработкой новой приемопередающей антенны системы и заменой широкополосного шумового модулятора (с полосой в несколько мегагерц) на узкополосный шумовой модулятор с полосой в несколько десятков килогерц.

Всё это прекрасно понимал Ю.Н. Мажоров, поскольку станция «Сапфир-1» разрабатывалась в КНИРТИ на базе НИР «Ласточка», в которой он руководил направлением ответных многократных импульсных и ответных шумовых помех, где было не только теоретически обосновано функциональное построение такой станции и обоснованные технические параметры её, но был изготовлен в полном объеме действующий макет.

Я думаю, что такую аппаратуру можно было реализовать и на базе самолетной станции типа «Сирень», разработки ЦНИРТИ, но он решил эксперимент поставить на базе станции «Сапфир-1» в наземном варианте, видимо, считая, что в Протве решат эту задачу более оперативно, и он, до получения первых экспериментальных результатов, не хотел обращаться ни к каким заказчикам.

Однако было видно, что наземный вариант такой аппаратуры будет иметь серьезный недостаток, который резко ограничит возможность её применения. Дело в том, что использование принимаемого сигнала РЛС подсвета для формирования сигнала помехи на фоне достаточно мощного непрерывного излучения требует соответствующей развязки между приемной и передающей антенной станции помех. Но если развязку по боковым лепесткам антенны можно решать техническими методами (экранированием, применением поглощающих материалов, в конце концов – разносом антенн в пространстве), но нет практических применяемых методов борьбы с «завязкой» по отраженному сигналу от подстилающей поверхности.

Я сразу обратил внимание А.А. Зиничева на это обстоятельство. Он согласился, что это действительно слабое место такого метода противодействия, но сказал, что в районах боевых действий и в местах предполагаемого использования помеховой аппаратуры можно найти достаточно высокие горы с крутыми и длинными скатами и есть надежда избавиться от «завязки» по отраженному от подстилающей поверхности сигналу.

После этого мы доложили Ю.Н. Мажорову, что у нас нет разногласий по всем вопросам создания экспериментального образца такой аппаратуры в наземном варианте. Юрий Николаевич спросил, сумеем ли мы быстро решить вопрос по блокам станции «Сапфир-1» с Новгородским телевизионным заводом, поскольку на данном этапе ему не хотелось бы никого подключать. Я ответил, что этот вопрос мы решим сами, а вот помощь нужна в срочной поставке двух-трех ЛБВ «Шасла-1». Он тут же дал указание Е.С. Замарину (начальнику отдела комплектации ЦНИРТИ), и, если мне не изменяет память, эти лампы через два дня были в Протве.

Юрий Николаевич не спрашивал, сколько нам нужно времени для создания экспериментального образца; он сказал, что дело не терпит никаких отлагательств и этот образец нужно сделать в течение месяца, и полушутя добавил, что

это будет хорошим подарком стране к 100-летию со дня рождения В.И. Ленина и что я сегодня же открою в КНИРТИ внутренний заказ (за номером 100).

На этом мы закончили обсуждения, и я поехал в Протву.

По дороге в машине я обдумал, кого надо привлечь к выполнению этой работы. Разработку антенно-фидерной системы следует поручить Е.С. Качанову. Евгений Сергеевич к этому времени уже защитил кандидатскую диссертацию по проблемам развязки приёмных и передающих антенн. А заниматься этими проблемами он начал с первых дней своей работы в КНИРТИ – в НИР «Снег», в которой я был научным руководителем.

Ответственным за разработку усилителя-ретранслятора с шумовой модуляцией в полосе доплеровских частот и сборку, настройку всего комплекса аппаратуры в кузове автомобиля надо возложить на А.В. Козьмина. Ведь он молодым специалистом прошел школу разработки многокаскадных выходных усилителей для станции «Сапфир-1», участвовал во внедрении их в серийное производство.

Утром следующего дня я пригласил к себе В.Ф. Просвирину, в те годы – начальника конструкторского отдела, П.С. Бачковского, начальника лаборатории 5, А.В. Козьмина, ведущего инженера той же лаборатории, и Е.С. Качанова, начальника антенной лаборатории.

С В.Ф. Просвириним мы договорились, что он назначит ответственным исполнителем по разработке эскизной документации В.П. Воловода, с которым мы «бок о бок» работали по созданию одного из самых сложных блоков станции «Сапфир-1» – шестиканального промежуточного усилителя на ЛБВ: до сих пор с удовольствием вспоминаю, что это был единственный блок станции «Сапфир-1», конструкторская документация которого не корректировалась по результатам исполнения опытного образца – в ней не было ни одной ошибки.

Окончательно остановились на автомобиле УАЗ-452, после чего начальнику автотранспортного цеха В.И. Воронцову было дано указание: один из имеющихся в гараже автомобилей немедленно перегнать на спецстоянку института.

На этом трехчасовое совещание мы закончили и больше ни разу никаких коллективных совещаний не проводили.

В результате через десять дней была полностью готова документация, а еще через десять дней были закончены изготовление, сборка и монтаж экспериментального образца в кузове автомобиля УАЗ-452.

Быстрое изготовление образцов изделия на Новгородском телевизионном заводе стало возможным благодаря тому, что весь процесс изготовления и испытаний взял под свой личный контроль А.В. Мищенко, в то время – главный инженер завода, широкоэрудированный специалист, высокопорядочный и ответственный человек.

...Закончились всякие подготовительные совещания встречей в Генштабе по поводу более детального ознакомления с характеристиками ЗРК «ХОК». На эту встречу я и Е.С. Качанов приехали чуть раньше, и Борис Васильевич Кожухов, представитель Генштаба (служба, которую возглавлял А.И. Палий) сказал, что сейчас придет профессор С.А. Вакин и ознакомит нас со всеми данными ЗРК «ХОК». Вскоре приехал С.А. Вакин, с ходу заявил, что сейчас ознакомит нас с самыми последними данными ЗРК «ХОК», которые он получил из ЦНИРТИ. Ну, конечно же, мы все трое расхохотались. На недоуменный вопрос С.А. Вакина: «В чем дело?» Борис Васильевич ответил, что мы – представители ЦНИРТИ. На этом наша встреча закончилась, мы все зашли к А.И. Палию, сказали, что обо всем договорились. Александр Игнатьевич сказал, что ВВС получили указание

об обеспечении финансирования этой работы, а ГРАУ – о выделении нужного количества блоков от станции «Янтарь»...

...Для обслуживания наземного варианта аппаратуры был определен расчет из двух человек – оператора и механика-водителя. Оператор в процессе боевой работы производил включение (выключение) аппаратуры и контроль работоспособности, механик-водитель запускал (или заглушал) двигатель агрегата питания и, при необходимости, корректировал работу двигателя с целью установки требуемых параметров первичного питания – как частоты, так и напряжения. Для обеспечения этих операций на расстоянии 300 метров от изделия имелся выносной пульт. Вообще-то предполагалось использование этой аппаратуры вне зоны поражения ракетами комплекса ЗРК «ХОК», но, как говорится, «береженого бог бережет».

А.С. Бочаров возглавлял «группировку» изделий «Смальта» в Сирии во время сирийско-израильского конфликта за долину Бекаа и Голанские высоты. Проявили они себя блестяще. По возвращении из Сирии я встречался с ним. Он рассказывал, как трудно было убедить сирийских летчиков в том, что «Смальта» защитит их от ЗРК «ХОК», и они сами получают возможность без ущерба для себя атаковать батареи «ХОК». Летели они на выполнение первого задания с большой неохотой. Но когда целыми и невредимыми вернулись, успешно выполнив боевую задачу, они готовы были задушить в объятиях наших специалистов. Анатолий Сергеевич рассказывал, что, по его подсчетам, по сирийским самолетам было выпущено более 180 ракет ЗРК «ХОК», и не было ни одного поражения.

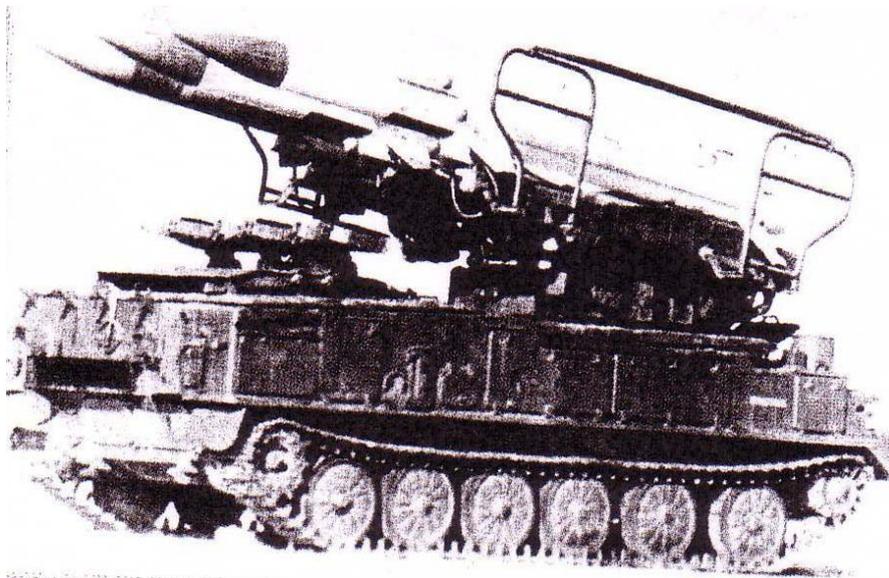
Мы ожидали, что ракеты устремятся на сигналы помехи, т.е. на станцию «Смальта». Но Анатолий Сергеевич говорил, что ракеты не устремлялись на станцию «Смальта», а по каким-то совершенно непонятным траекториям устремлялись к земле. Проанализировав этот факт, мы пришли к выводу, что при сопровождении помехи по боковым лепесткам антенн головок самонаведения так и должно быть: при переходе от одного бокового лепестка к другому резко меняются и амплитудные, и фазовые соотношения для принимаемого сигнала, поэтому головка самонаведения и начинает вырабатывать «глупые» команды на развороты и довороты ракеты.

Надо отдать должное американским специалистам: они достаточно быстро разобрались в ситуации и скоро модернизировали «ХОКи», введя квазинепрерывный длинноимпульсный режим; возможность же скачкообразной частотной перестройки у них всегда была.

Но это все в будущем, а на тот момент вскоре были прекращены военные действия между Израилем и Сирией. «Смальта» сыграла в этом решающую роль.

Аппаратура «Смальта» стала весьма популярна в военной среде. В 1957 г. мы получили указание направить макетный образец «Смальты», смонтированный в КУНГЕ, на Эмбу для участия в совместных учениях ВВС и ПВО, под руководством начальника Генштаба маршала Советского Союза В.Г. Куликова. «Смальта» должна была противостоять знаменитым «КУБам».

«Возглавил группу наших специалистов на этих учениях А.В. Козьмин. Нужно отметить, что частоты, на которых работали «КУБы», не попадали в заданный рабочий диапазон «Смальты». «Смальта» цепляла «КУБ» за пределами своего рабочего диапазона, где энергетический потенциал в его максимуме. И тем не менее «Смальта» блестяще справилась с «КУБами», и ВВС выиграла эти учения у ПВО» [1, с. 98].



Самоходная пусковая установка «КУБ»

Ну, а о судьбе главного конструктора наземного варианта «Смальты», лауреата Государственной премии СССР, д.т.н., профессора А.А. Зиничева можно узнать из статьи автора [3].

Литература

1. Мы не боялись быть первыми. К 50-летию ФНПЦ ФГУП «КНИРТИ»: Сб. статей и воспоминаний. Жуков, 2007.
2. Радунская И.Л. Четыре жизни академика Берга. М.: изд-во ОАО «Московские учебники», 2007.
3. Ерофеев Ю.Н. Победа над «ХОКами» // Техника и вооружение. 2006. № 12. С. 29–33.
4. Мацкевич В.В. Солдат империи, или История о том, почему США не напали на СССР. Мемуары. Майкоп: изд-во ООО «Качество», 2010.

Контактный телефон: 8 (499) 267-58-04

СОДЕРЖАНИЕ

*Статьи секций 1, 3, 4, 6 размещены в сборнике статей
«Доклады» ТУСУРа №2 (22), ч. 1, 2; декабрь 2010 г.*

Секция 2

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Председатель – Шарыгин Герман Сергеевич, зав. каф. РТС, д.т.н., проф.

Г.Б. Итигилов

РАСЧЕТ ДИСПЕРСИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО
ВОЛНОВОДА ПРИ ПРОДОЛЬНОМ ПОДМАГНИЧИВАНИИ..... 3

А.Г. Логвинов, А.В. Капелько, Д.А. Зедин

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ
ДЛЯ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
БОРТОВЫХ РЕТРАНСЛЯТОРОВ
КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ..... 7

П.Е. Орлов

СРАВНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОСЛАБЛЕНИЯ ПЯТИ-
И СЕМИОТРЕЗОЧНЫХ МОДАЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ РАВНОЙ ДЛИНЫ 11

О.Л. Савина, А.А. Зоркальцев

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
В СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ..... 14

Секция 5

АНТЕННЫ И МИКРОВОЛНОВЫЕ УСТРОЙСТВА СВЧ

*Председатель – Гошин Геннадий Георгиевич, д.т.н., проф. каф. СВЧиКР;
Зам. председателя – Сычев Александр Николаевич, д.т.н., проф. каф. КСУП*

С.Б. Сунцов

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ
МНОГОСЛОЙНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ НА ОСНОВЕ КЕРАМИКИ
С НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ОБЖИГА, НА РЕЗУЛЬТАТЫ
МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
МОДУЛЕЙ ДЛЯ БОРТОВОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ..... 17

П.Н. Уланов

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИМПУЛЬСА В ПЛОСКОМ ВОЛНОВОДЕ 20

Секция 7

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Председатель – Гарганеев Александр Георгиевич, зав. каф. ЭСАУ, д.т.н., проф.

Ю.А. Кремзуков

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИМИТАТОР СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ 24

М.В. Чуркин, Р.В. Мещеряков, Е.Д. Головин

МОДЕЛИРУЮЩИЙ ВИРТУАЛЬНЫЙ СТЕНД СИСТЕМ ТЕЛЕМЕХАНИКИ НА
ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА MOSCAD..... 26

А.М. Шамрин, Е.Ю. Буркин, О.А. Кожемяк

ИМПУЛЬСНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ
ПОНИЖАЮЩЕГО ТИПА С ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ
ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ 29

А.А. Загваздин, Н.С. Легостаев

ВЫПРЯМИТЕЛЬ ИМИТАТОРА ТРЕХФАЗНОЙ СЕТИ С АКТИВНЫМ
ФОРМИРОВАНИЕМ ПОТРЕБЛЯЕМОГО ТОКА..... 34

Г.Я. Михальченко, С.Г. Михальченко, А.А. Гаврилов ДИНАМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ МОДУЛЬНОГО ТИПА	38
---	----

Секция 8

ФИЗИЧЕСКАЯ И ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Председатель – Окс Ефим Михайлович, зав. каф. физики, д.т.н., проф.

А.К. Гореев, А.С. Климов, В.А. Бурдовичин О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ РАБОЧЕГО ДАВЛЕНИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ИСТОЧНИКОВ	50
Е.Э. Поздеев, Ю.Г. Юшков, А.В. Медовник ПЛАЗМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ОБЛАСТИ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ ФОРВАКУУМНОГО ИСТОЧНИКА С ПЛАЗМЕННЫМ КАТОДОМ	53
Е.В. Скоров, Ю.Г. Юшков РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПРОФИЛЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ АЛЮМООКСИДНОЙ КЕРАМИКИ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ	56
Ю.А. Бурачевский, Д.Б. Золотухин ОКСИДИРОВАНИЕ КРЕМНИЯ В ПЛАЗМЕ НЕСАМОСТОЯТЕЛЬНОГО ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА	59

Секция 9

БИОМЕДИЦИНСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Председатель – Федотов Николай Михайлович, БИОТОК каф. КИБЭВС, к.т.н.

А.А. Бомбизов, Е.В. Бугров, М.Н. Романовский АППАРАТ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОЙ КОРРЕКЦИИ	63
Р.Ф. Нигматуллин, А.Г. Позин РАЗРАБОТКА АУДИОМЕТРА, РАБОТАЮЩЕГО НА ПРИНЦИПЕ КОСТНОЙ ПРОВОДИМОСТИ	66
А.Н. Розенбаум, А.И. Никитин, А.А. Супоя СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМ	68

Секция 10

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ**

Председатель – Кориков Анатолий Михайлович, зав. каф. АСУ, д.т.н., проф.

В.А. Афанасьев, А.Н. Качалов РАЗРАБОТКА БЕСПРОВОДНОГО ШЛЮЗА В СЕТИ INDUSTRIAL ETHERNET ДЛЯ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИКИ	72
А.П. Филимонов ПРОБЛЕМЫ TSP	75
П.Е. Гавриш БЛОК ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА ДЛЯ СИЛОВОГО ГИРОСКОПИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА	79
А.В. Афонсенко, Д.В. Кокарев, В.К. Ошлаков, В.Е. Прокопьев ПРОГРАММА ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ С УСТРОЙСТВ ВИДЕОЗАХВАТА	82
Г.Д. Копаница РЕАЛИЗАЦИЯ ПОДСИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ СТАТИСТИКИ СИТУАЦИОННОГО ЦЕНТРА «ЗДРАВООХРАНЕНИЕ»	84

С.В. Корытников	БАЛАНСИРОВКА НАГРУЗКИ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ С СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННОЙ АРХИТЕКТУРОЙ	87
В.В. Котенев	АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД КАБЕЛЕСБОРОЧНОГО МЕХАНИЗМА С ООС ПО УСИЛИЮ НАТЯЖЕНИЯ КАБЕЛЯ ЛИНИИ ПИТАНИЯ НАПОЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА	90
В.В. Котенев, В.А. Жупиков, В.И. Котенев, С.В. Серюгин	ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНИЗМА НАТЯЖЕНИЯ ПРИ ПЕРЕМАТЫВАНИИ И ТРАНСПОРТИРОВАНИИ	92
О.А. Кривцов, А.М. Кориков	РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ГОЛОВЫ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ КОМПЬЮТЕРА НА ВИДЕОКАДРАХ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КУРСОРОМ	94
А.В. Марков, А.В. Перцев, И.А. Русинов, В.С. Шерстнёв	ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ И ПОДГОТОВКА ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ С ПОМОЩЬЮ MS SQL Server Reporting Services	96
Е.Ю. Костюченко, Р.В. Мещеряков, А.Г. Сизов	АНАЛИЗ БИОМЕТРИЧЕСКОГО РЕЧЕВОГО СИГНАЛА	100
А.А. Конев, Р.В. Мещеряков	К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ДИКТОРА ПО РЕЧЕВОМУ СИГНАЛУ	102
Н.В. Неслова	ОПРЕДЕЛЕНИЕ СХОЖЕСТИ WEB-ДОКУМЕНТОВ ПРИ ПОМОЩИ RGB-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ	106
Нгуен Ба Нгок	ОБЗОР ПОДХОДОВ К СЕМАНТИЧЕСКОМУ ПОИСКУ ДОКУМЕНТОВ	109
В.А. Онуфриев, А.Н. Качалов	УСТРОЙСТВО МОНИТОРИНГА И АРХИВИРОВАНИЯ СЕТЕВОГО ТРАФИКА В ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЯХ	112
Фам Чи Куонг	СЕМАНТИЧЕСКИЙ ВЕБ	115
Фан Нгок Хоанг, В.Г. Спицын	МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕДИАННЫЙ ФИЛЬТР ПОДАВЛЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО ШУМА НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ	118
А.В. Погребной	ЗАДАЧА ДЕКОМПОЗИЦИИ ГРАФОВЫХ МОДЕЛЕЙ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ	121
Д.А. Шутов, В.П. Галилейский, К.Г. Зуев, А.М. Морозов	АЛГОРИТМ ПРОГНОЗА ПОЯВЛЕНИЯ ОБЛАКОВ НА ЛИНИИ ВИЗИРОВАНИЯ	124
Д.С. Синьков	ТРЕЙДИНГОВАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ НЕЧЕТКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ	126
Ф.А. Тузовский	ОБРАБОТКА ЗАПРОСОВ В ПОВСЕМИСТНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ СРЕДЕ	128
И.А. Заикин	АЛГОРИТМ СРАВНЕНИЯ ВАРИАНТОВ ОНТОЛОГИЙ	132
А.А. Зарипов	РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ РАБОТЫ С БАЗОЙ ЗНАНИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ	135
Ю.М. Ерофеев	АКСЕЛЬ ИВАНОВИЧ БЕРГ И ЕГО РОЛЬ В ОРГАНИЗАЦИИ КАЛУЖСКОГО ФИЛИАЛА ВНИИ-108	139

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Научное издание

**VI Международная
научно-практическая конференция**

**ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА
И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

Материалы докладов

13–16 октября 2010 г.

В 2 частях. Часть 1

Ответственный редактор – д.т.н. Н.Д. Малютин

Корректор – В.Г. Лихачева
Верстка В.М. Бочкаревой

Издательство «В-Спектр»
Сдано на верстку 05.06.2011. Подписано к печати 15.08.2011.
Формат 60×84¹/₁₆. Печать трафаретная.
Печ. л. 9,6. Усл. печ. 8,9.
Тираж 100 экз. Заказ 26.

Тираж отпечатан в издательстве «В-Спектр»
ИНН/КПП 7017129340/701701001, ОГРН 1057002637768
634055, г. Томск, пр. Академический, 13/24, тел. 49-09-91.
E-mail: bvm@sibmail.com