

Всероссийский научно-технический журнал

ПРОЕКТИРОВАНИЕ и ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ



№3 2015 г.

ISSN 2071-9809

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ



Редакционная коллегия

Гл. редактор д.ф.-м.н., проф. В.Г. Прокошев
Зам. гл. редактора д.т.н., проф. А.Г. Самойлов
Отв. секретарь к.т.н., доц. С.А. Самойлов
Зам. отв. секретаря А.А. Завьялова

Издается с 2001 г.

Члены редколлегия: д.т.н., проф. М.К. Багдасарян (Армения), д.т.н., проф. Ю.А. Брюханов, д.т.н., проф., чл.-корр. РАН Ю.Б. Зубарев, д.т.н., проф. Н.Н. Давыдов, д.т.н. С.В. Кизима, д.т.н., проф. С.Н. Кириллов, д.т.н., проф. В.В. Костров, д.т.н., проф. В.П. Крылов, д.ф.-м.н., проф., чл.-корр. РАН С.А. Никитов, д.т.н., проф. Х. Ниман (Германия), д.т.н., проф. О.Р. Никитин, д.т.н., проф. И.Я. Орлов, д.т.н., проф. П.А. Полушин, д.т.н., проф. Л.Т. Сушкова, д.т.н. Ю.А. Тамм, д.т.н., проф. Н.Н. Удалов, д.т.н., проф. В.А. Цимбал, д.т.н., проф. В.А. Шахнов, д.т.н., проф. О.А. Шорин

СОДЕРЖАНИЕ

УДК 681.23

Теория проектирования электронных средств

Самойлов А.Г., Самойлов С.А. Адаптивное программирование в цифровых системах телеметрии..... 3

Татарчук И.А., Шаврин С.С. Прямой цифровой синтез сигналов GFSK с малой базой..... 7

Ирхин В.П., Мельник В.А., Кузьменко Р.В., Душкин А.В. Особенности выполнения немодульных операций в системе остаточных классов специальными микроконтроллерами в сетях телекоммуникаций..... 12

Моделирование электронных устройств

Головков А.А., Гаврюшин В.Н. Обобщенный алгоритм параметрического синтеза широкополосных усилителей и демодуляторов сигналов с угловой модуляцией при использовании различных типов внешней обратной связи..... 17

Чье Ен Ун, Шеин А.Б. Полиномиальная аппроксимация уравнений состояния электронных устройств..... 23

Гришко А.К., Горячев Н.В., Юрков Н.К. Математическое моделирование системы обеспечения тепловых режимов конструктивно-функциональных модулей радиоэлектронных комплексов..... 27

Тупицин Г.С., Кравцов С.А., Топников А.И., Приоров А.Л. Модификация алгоритма оценки бинарной маски в задаче подавления шума для системы идентификации диктора..... 32

Проектирование электронных устройств и систем

Тельный А.В., Никитин О.Р., Монахов М.Ю. Способ повышения точности определения местоположения подвижного объекта..... 38

Костров В.В., Григас С.Э., Скорынин А.А., Терехов Ю.Е. Энергетическое обеспечение радиолокационных комплексов космического базирования для обнаружения летательных аппаратов..... 44

Волков А.А., Кузюков В.А., Морозов М.С. Новый вариант второй ступени модуляции передатчика цифровой железнодорожной системы радиосвязи GSM-R..... 52

Краткие сведения об авторах..... 56

Требования к оформлению материалов для публикации в журнале..... 59

Информация о журнале..... 60

©2015 г.

Волков А.А.,
Кузюков В.А.,
Морозов М.С.

НОВЫЙ ВАРИАНТ ВТОРОЙ СТУПЕНИ МОДУЛЯЦИИ ПЕРЕДАТЧИКА ЦИФРОВОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ GSM-R

Предлагается в цифровой железнодорожной системе радиосвязи заменить двухполосную частотную манипуляцию (ЧМн) на однополосную фазовую манипуляцию (ОБП-ФМн) на 180°, что повысит частотную эффективность и помехоустойчивость радиосвязи в два раза. Разработаны два низкочастотных высокоточных широкополосных фазовращателя для формирования ОБП-ФМн фазовым способом.

Ключевые слова: помехоустойчивость, частотная эффективность, цифровая система, частотная и фазовая манипуляции, фазовращатель, фазовый способ формирования однополосного сигнала.

Введение

На железнодорожном транспорте высок уровень помех и до сих пор железнодорожная радиосвязь осуществляется исключительно с помощью узкополосной частотной модуляции (ЧМ). Поэтому помехоустойчивость железнодорожной радиосвязи не всегда удовлетворительна, что отрицательно может сказаться на безопасности движения поездов. Перейти на более помехоустойчивый цифровой вид модуляции затруднительно из-за несовместимости их приёмников.

Известна [1] зарубежная цифровая железнодорожная система радиосвязи GSM-R, на которую ориентируются в России. Структурная схема её второй ступени модуляции представлена на рисунке 1, где обозначены: ГФ – фильтр Гаусса, И – интегратор, П – перемножители, Г – генератор колебаний несущей частоты, ФВ – фазовращатель на 90°, cos, sin – блоки формирования соответствующих функций по входному сигналу.

Блоки правее интегратора И образуют фазовый модулятор согласно выражению сигнала с фазовой модуляцией (ФМ):

$$u_{\text{ФМн}}(t) = \cos(\omega t + m \sin \Omega t) = \\ = \cos \omega t \cos(m \sin \Omega t) - \sin \omega t \sin(m \sin \Omega t),$$

где m – индекс ФМ. Перемножитель П1 реализует первое слагаемое, а перемножитель П2 – второе.

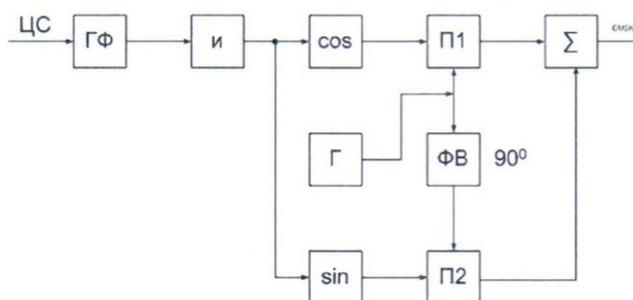


Рисунок 1 – Структурная схема второй ступени модуляции зарубежной ж.-д. системы радиосвязи GSM-R

Интегратор И на низкочастотном (НЧ) входе фазового модулятора говорит о том, что на выходе этого модулятора имеет место косвенная частотная модуляция (ЧМ).

Помехоустойчивость радиосвязи с частотной манипуляцией (ЧМн) в два раза меньше помехоустойчивости максимально возможной системы с фазовой манипуляцией (ФМн) на 180°, полоса частот сигнала с которой в два с лишним раза меньше полосы частот сигнала с ЧМн [1].

Для повышения и помехоустойчивости, и частотной эффективности авторами преобразована [3] схема с двухполосной ЧМн (рисунок 1) в схему с однополосной фазовой манипуляцией (ОБП-ФМн) на 180°.

Обоснование и реализация формирователя ОБП-ФМН на 180°

Схема правее блока И (рисунок 1) может рассматриваться и как схема формирователя одной боковой полосы частот амплитудно-модулированного сигнала (ОБП-АМ) фазовым способом согласно выражению этого сигнала:

$$u_0(t) = \cos(\omega + \Omega)t = \cos\omega t \cos\Omega t - \sin\omega t \sin\Omega t.$$

Этим же способом предложено формировать ОБП-ФМн на 180°, т.к. двухполосная ФМн на 180° – это произведение модулирующего знакопеременного сигнала прямоугольной формы $\gamma(t) = \pm 1$ и гармонического колебания несущей частоты $u_H(t) = U_m \cos\omega t$. Действительно, согласно [2] двухполосный ФМн сигнал

$$u_{ФМн}(t) = U_m \sin[\omega t + \gamma(t) \cdot 90^\circ].$$

После преобразования имеем:

$$u_{ФМн}(t) = U_m \{ \sin\omega t \cos[\gamma(t) \cdot 90^\circ] + \cos\omega t \sin[\gamma(t) \cdot 90^\circ] \} = \gamma(t) U_m \cos\omega t = \gamma(t) u_H(t),$$

что подтверждает сказанное. Раз на выходе перемножителей П (рисунок 1) имеет место двухполосная ФМн на 180°, то на выходе всего формирователя однополосная ФМн (ОБП-ФМн) на 180°, а не амплитудная (ОБП-АМн). Последняя имеет место тогда, когда модулирующий сигнал прямоугольной формы однополярный, изменяющийся от 0 до U_m . Как известно [1, 2], сигнал с ФМн на 180° обладает максимально возможной помехоустойчивостью, которая превышает помехоустойчивость сигналов с АМн энергетически в 4 раза, а с ЧМн – в 2 раза. Можно исключить интегратор И и ввести фазоинвертор на выходе П2 для получения не только нижней, но и верхней боковой полосы частот. Работа такой скорректированной схемы аналогична работе формирователя ОБП-АМ. В формирователе ОБП-ФМн на 180° фазовым способом проблемным блоком является высокоточный НЧ широкополосный фазовращатель (ШВФ) на 90°, указанный на рисунке 1 в виде блоков \cos и \sin . В качестве последних предложено [3] использовать две пассивные RC-цепочки, включённые параллельно между собой и в обратном порядке, как показано на рисунке 2.

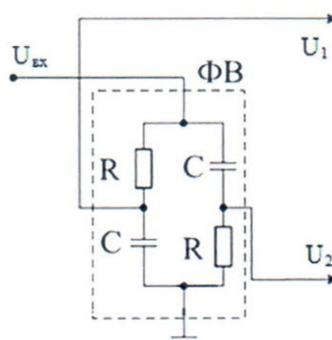


Рисунок 2 – ШФВ на RC-цепочках

Исследование предложенного ШФВ на 90°

В нём обе одинаковые RC-цепочки включены параллельно и в обратном порядке для того, чтобы снимать квадратурные напряжения относительно земли. В каждой RC-цепочке (рисунок 2) колебания на резисторе R сдвинуты по фазе на 90° по отношению к колебанию на конденсаторе C, о чём говорит символ j в сопротивлении конденсатора $X_C = 1/j\omega C$. Геометрическая сумма этих колебаний равна колебанию на входе RC-цепочек, что можно представить прямоугольным треугольником, вершина прямого угла которого находится на окружности, а гипотенуза совпадает с её диаметром, как показано на рисунке 3. Ясно, что с изменением частоты ω будет изменяться амплитуда колебания на R и C, отчего прямой угол будет смещаться по окружности, опираясь на её диаметр (рисунок 3). На частоте входного сигнала $f = 64$ кГц (кбит/с). $R = |X_C|$ и напряжения на них одинаковые. При изменении частоты – это равенство нарушается, как показано на рисунке 3.

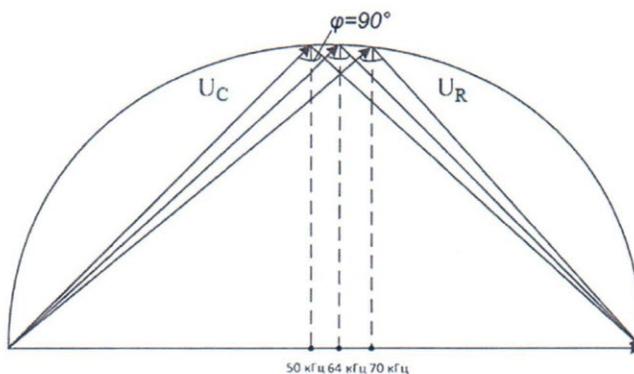


Рисунок 3 – Векторная диаграмма напряжений на выходе фазовращателя

Количественно это можно записать следующим образом:

$$U_1 = U_{ex} \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}} \text{ или } K_1 = \frac{U_1}{U_{ex}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}},$$

$$U_2 = U_{ex} \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}} \text{ или } K_2 = \frac{U_2}{U_{ex}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega CR}\right)^2}}.$$

Неравенство сигналов на R и C устраняется усилителями-ограничителями амплитуды, через которые эти сигналы поступают на умножитель Π . На рисунке 4 представлена фазо-частотная характеристика (ФЧХ) $\varphi(\omega)$ такого фазовращателя и нормированные амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) $K(\omega)$.

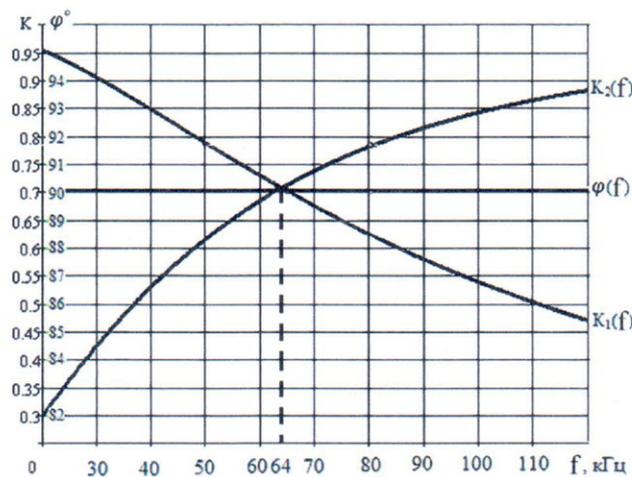


Рисунок 4 – ФЧХ и частотная зависимость отношения амплитуд сигнала на выходах фазовращателя

Видно, что в окрестности точки $K = 1/\sqrt{2} = 0,707$, соответствующей частоте $f = 64$ кГц, амплитуды сигналов на R и C разнятся мало между собой, а при дальнейшем отклонении f от 64 кГц в обе стороны амплитуды на одном элементе (R или C) стремятся к 0, а на другом – к максимуму, равному входному напряжению. Этим ограничивается рабочий диапазон ФЧХ $\varphi = 90^\circ$ от 10 кГц до 100 кГц с погрешностью $\Delta\varphi = 0,2^\circ$. Для устранения этого недостатка был разработан другой вариант ШФВ на 90° .

Другой вариант ШФВ на 90°

Этот вариант выполнен на базе интегратора и дифференциатора [4], так как в обоих случаях их выходной сигнал сдвигается по фазе на 90° , но в разные стороны:

$$u_u(t) = \int U_m \cos \Omega t dt = \frac{U_m}{\Omega} \sin \Omega t,$$

$$U_o(t) = \frac{d}{dt} U_m \cos \Omega t = -\Omega U_m \sin \Omega t.$$

Если использовать один интегратор, то с повышением частоты амплитуда колебаний будет стремиться к 0, а если использовать один дифференциатор – то с понижением частоты амплитуда стремится к 0. Для устранения этих нулей предложено использовать оба устройства, входы которых соединены вместе, а их выходы подключены ко входам сумматора Σ : интегратор I – через фазоинвертор ΦI , а дифференциатор D – непосредственно. На рисунке 5 представлена принципиальная схема такого ШФВ, выполненного на активных операционниках.

Такой ШФВ, включающий в себя блоки I , \cos , \sin (рисунок 1), подключается ко входу $\Pi 2$ тоже через усилитель-ограничитель. Результаты компьютерного исследования его АЧХ и ФЧХ представлены на рисунке 6.

Из этого рисунка следует, что АЧХ имеет минимум, не равный нулю, а погрешность фазового сдвига на 90° составляет $\Delta\varphi \leq 0,2^\circ$ в диапазоне частот от 0 до 100 кГц. Если же брать тональный диапазон 300-3400 Гц, то эта погрешность составляет $0,05^\circ$, чему соответствует степень подавления нерабочей боковой полосы частот ОБП-ФМн на 180° $a = -20 \lg \sin 0,5\Delta\varphi = -75$ дБ. При передаче аналоговых сигналов тонального диапазона частот $\Delta\varphi = 2^\circ-3^\circ$, чему соответствует $a = -30$ дБ, что недостаточно. Такой выигрыш в $\Delta\varphi$ разработанных ШФВ на 90° объясняется тем, что модулирующий сигнал для ОБП-ФМн постоянной амплитуды.

Выводы

1. Предложено [3, 4] вместо частотной манипуляции (ЧМн) в передатчике системы GSM-R использовать однополосную фазовую манипуляцию (ОБП-ФМн) на 180° , повышающую частотную эффективность и помехоустойчивость в 2 раза.

2. Показано отличие ОБП-ФМн на 180° от ОБП-АМн.

3. Разработаны [3, 4] два новых высокоточных широкополосных фазовращателя на 90° с погрешностью $\Delta\varphi \leq 0,2^\circ$ в полосе частот 100 кГц, позволяющие реализовать ОБП-ФМн на 180° .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горелов Г.В., Волков А.А., Шелухин В.И. Каналообразующие устройства железнодорожной телемеханики и связи. – М.: ГОИ, 2007.

2. Зюко А.Г., Коробов Ю.Ф. Теория передачи сигналов. – М.: Связь, 1972. С. 76.

3. Положительное решение на выдачу патента РФ на ПМ: Формирователь цифровым сигналом ОБП-ФМн на 180° / А.А. Волков, М.С. Морозов, В.А. Кузюков, В.Е. Самойлов.

4. Патент РФ на ПМ №125790. Формирователь цифровым сигналом однополосного колебания с фазовой манипуляцией на 180° / А.А. Волков, В.А. Кузюков. Приоритет от 14.09.2012. Оpubл. в БИ № 7 за 2013 г.

Поступила 13.07.2015.

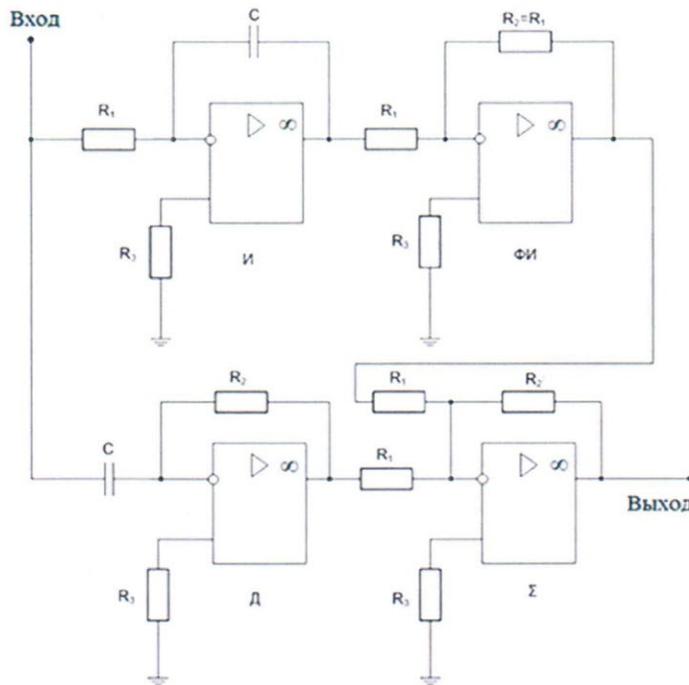


Рисунок 5 – Принципиальная схема разработанного фазовращателя на 90° на активных элементах (операционных усилителях)

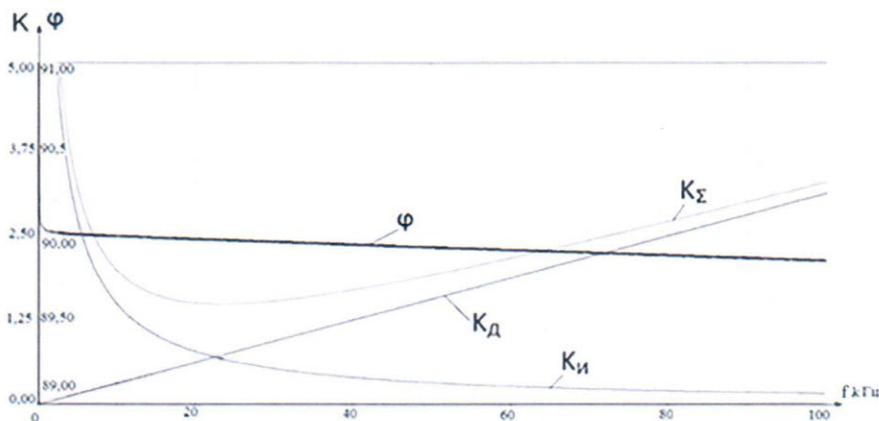


Рисунок 6 – ФЧХ $\varphi(f)$ и АЧХ $K(f)$ разработанного широкополосного высокоточного фазовращателя

Volkov A.A.,
Kuzuykov V.A.,
Morozov M.S.

THE NEW VERSION OF THE SECOND STAGE OF THE TRANSMITTER MODULATION DIGITAL RAILWAY GSM-R RADIO COMMUNICATION SYSTEM

Available in digital train replace two-way radio communication system frequency shift keying (FSK) on a single-sideband shift keying (SSB - QPSK) 180° , which will increase the frequency efficiency and robustness of the radio twice. Developed two low-frequency high-precision broadband phase shifters for forming SSB phase PSK way.

Keywords: immunity, frequency efficiency, the digital system, the frequency and phase shift keying, phase shifter, the phase method of forming a single-sideband signal.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Волков Анатолий Алексеевич – д.т.н., профессор кафедры автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), г. Москва. E-mail: aavolkov2009@rambler.ru

Гаврюшин В.Н. – заместитель начальника кафедры ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж. E-mail: vvvaiu@vvvaiu.vrn.ru

Головков Александр Афанасьевич – д.т.н., профессор, заслуженный изобретатель РФ, главный научный сотрудник ОАО «Концерн «Созвездие». Профессор кафедры ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж. Тел.: +7(950)7526104.

Горячев Николай Владимирович – к.т.н., доцент кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры Пензенского государственного университета, г. Пенза. Тел.: +7(8412)368212. E-mail: ra4foc@yandex.ru

Григас Станислав Эдуардович – к.ф.-м.н., начальник лаборатории ОАО «Корпорация «Комета», г. Москва. Тел.: (495)6740821. E-mail: stanislav.grigas@gmail.com

Гришко Алексей Константинович – к.т.н., доцент кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры Пензенского государственного университета, г. Пенза. Тел.: +7(8412)368212. E-mail: ra4foc@ya.ru

Душкин Александр Викторович – д.т.н., доцент, начальник кафедры управления и информационно-технического обеспечения Воронежского института ФСИН России, г. Воронеж. Тел.: (473)2606819. E-mail: A_dushkin@mail.ru

Ирхин Валерий Петрович – д.т.н., доцент, профессор кафедры основ радиотехники и электроники Воронежского института ФСИН России, г. Воронеж. Тел.: (473)2674795. E-mail: Val_irkhin@mail.ru

Костров Виктор Васильевич – д.т.н., профессор кафедры радиотехники Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Владимирская обл., г. Муром. Тел.: (49234)77232. E-mail: vvk@mit.ru

Кравцов Сергей Андреевич – аспирант кафедры динамики электронных систем Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова, г. Ярославль. E-mail: sk860@outlook.com

Кузьменко Роман Валентинович – д.ф.-м.н., доцент, профессор кафедры основ радиотехники и электроники Воронежского института ФСИН России, г. Воронеж. Тел.: (473)2674795. E-mail: Roman_kuzmenko@inbox.ru

Кузюков Василий Александрович – ассистент кафедры автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), г. Москва. E-mail: super-1990@yandex.ru

Мельник Вячеслав Александрович – к.ф.-м.н., старший преподаватель кафедры основ радиотехники и электроники Воронежского института ФСИН России, г. Воронеж. Тел.: (473)2674795. E-mail: Gloriy_@mail.ru

Монахов Михаил Юрьевич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информатики и защиты информации Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир. Тел.: (4922)479746. E-mail: mmonakhov@vlsu.ru

Морозов Максим Сергеевич – аспирант кафедры автоматики, телемеханики и связи на же-

лезнодорожном транспорте Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), г. Москва. E-mail: raconteurs.mm@gmail.com

Никитин Олег Рафаилович – д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой радиотехники и радиосистем Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир. Тел.: (4922)479994.

Приоров Андрей Леонидович – д.т.н., доцент кафедры динамики электронных систем Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова, г. Ярославль. E-mail: dcslab@uniyar.ac.ru

Самойлов Александр Георгиевич – д.т.н., профессор, декан факультета радиофизики, электроники и медицинской техники Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир. Тел.: (4922)479960. E-mail: ags@vlsu.ru

Самойлов Сергей Александрович – к.т.н., доцент кафедры радиотехники и радиосистем Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир. Тел.: (4922)534238.

Скорынин Александр Андреевич – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник ОАО «Корпорация «Комета», г. Москва. Тел.: (495)6740821. E-mail: skoraleks@yandex.ru

Татарчук Иван Александрович – аспирант Московского технического университета связи и информатики, г. Москва. E-mail: ivantmtuci@gmail.com

Тельный Андрей Викторович – к.т.н., доцент кафедры информатики и защиты информации Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир. Тел.: (4922)479746. E-mail: andre.izi@mail.ru

Терехов Юрий Евгеньевич – к.ф.-м.н., научный сотрудник ОАО «Корпорация «Комета», г. Москва. Тел.: (495)6740821. E-mail: yury.terekhov@gmail.com

Топников Артем Игоревич – к.т.н., ассистент кафедры динамики электронных систем Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова, г. Ярославль. E-mail: topnikov@gmail.com

Тупицин Геннадий Сергеевич – аспирант кафедры динамики электронных систем Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова, г. Ярославль. E-mail: genichyar@genichyar.com

Чье Ен Ун – д.т.н., профессор, зав. кафедрой автоматизации и системотехники Тихоокеанского государственного университета, г. Хабаровск. Тел.: (4212)375191. E-mail: chye@ais.khstu.ru

Шаврин Сергей Сергеевич – д.т.н., профессор кафедры многоканальных телекоммуникационных систем Московского технического университета связи и информатики, г. Москва. E-mail: 9015380817@skypoint.ru

Шеин Александр Борисович – к.т.н., доцент кафедры промышленной электроники Чувашского государственного университета, г. Чебоксары. Тел.: (83540)22344.

Юрков Николай Кондратьевич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой конструирования и производства радиоаппаратуры Пензенского государственного университета, г. Пенза. Тел.: +7(8412)368212. E-mail: ra4foc@narod.ru