



ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

России

6

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

2018

Индекс по каталогу «Пресса России» 45818

Учредитель:

Федеральное государственное
автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет "ЛЭТИ"
им. В. И. Ульянова (Ленина)
(СПбГЭТУ "ЛЭТИ")

Журнал основан в 1998 г.

Издается 6 раз в год

Журнал зарегистрирован
Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций
(ПИ № ФС77-74297 от 09.11.2018 г.)

Журнал по решению ВАК
Минобразования РФ включен
в Перечень периодических
и научно-технических изданий,
выпускаемых в Российской Федерации,
в которых рекомендуется публикация
основных результатов диссертаций
на соискание ученой степени
доктора наук

Редакция журнала:

197376, Санкт-Петербург,
ул. Проф. Попова, д. 5, СПбГЭТУ «ЛЭТИ».
Тел.: 8 (812) 234-10-13,
e-mail: radioelectronic@yandex.ru
<http://re.eltech.ru>

Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
197376, Санкт-Петербург,
ул. Проф. Попова, д. 5
Тел. / факс: 8 (812) 346-28-56

Главный редактор

В. Н. Малышев, д.т.н., проф., Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Редакционная коллегия:

- Erkki Lahderanta**, Prof. Dr., Технический университет г. Лаппеэнранта (Финляндия)
Ferran Martin, Prof. Dr., Автономный университет г. Барселона (Испания)
Jochen Horstmann, Dr. rer. nat. Гельмгольц-центр г. Гестахт (Германия)
Matthias A. Hein, Prof., Dr. Rer. Nat. Habil., Технический университет г. Ильменау
(Германия)
Piotr Samczynski, Prof., Dr., Варшавский технологический университет, Институт
электронных систем
Б. А. Калиников, д.ф.-м.н., проф., Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)
Л. А. Мельников, д.ф.-м.н., проф., Саратовский государственный технический
университет им. Гагарина Ю.А.
А. А. Монаков, д.т.н., проф., Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения (ГУАП)
А. А. Потапов, д.ф.-м.н., гл.н.с., Институт радиотехники и электроники
им. В. А. Котельникова РАН (Москва)
Н. М. Рыскин, д.ф.-м.н., гл.н.с., Саратовский филиал ИРЭ РАН
С. В. Селищев, д.ф.-м.н., проф., НИУ Московский институт электронной техники
А. Л. Толстихина, д.ф.-м.н., Институт кристаллографии им. А. В. Шубникова
РАН (Москва)
А. Б. Устинов, д.ф.-м.н., проф., Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)
В. А. Царев, д.т.н., проф., Саратовский государственный технический
университет им. Гагарина Ю.А.

Редакционный совет

председатель совета **В. М. Кутузов**,
д. т. н., проф. (Санкт-Петербург)

ответственный секретарь **В. А. Мейев**,
к. т. н., с. н. с. (Санкт-Петербург)

- К. Е. Аббакумов**, д. т. н., проф., СПб.
В. В. Алексеев, д. т. н., проф., СПб.
Е. М. Антонюк, д. т. н., проф., СПб.
В. М. Балашов, д. т. н., проф., СПб.
С. А. Баруздин, д. т. н., проф., СПб.
А. М. Боронахин, д. т. н., проф., СПб.
В. И. Веремьев, к. т. н., доц., СПб.
А. Г. Вострецов, д.т.н., проф., Новосибирск
А. А. Головков, д. т. н., проф., СПб.
А. Д. Григорьев, д. т. н., проф., СПб.
В. П. Ипатов, д. т. н., проф., СПб.
Т. А. Исмаилов, д. т. н., проф., Махачкала.
Н. В. Лысенко, д. т. н., проф., СПб.
С. Б. Макаров, д. т. н., проф., СПб.
И. Г. Мироненко, д. т. н., проф., СПб.
В. А. Мошников, д. ф.-м. н., проф., СПб.
- В. А. Обуховец**, д. т. н., проф., Р. н/Д.
Б. А. Панченко, д. т. н., проф., Екатеринбург
В. А. Пахотин, д. ф.-м. н., проф., Калининград
А. Д. Плужников, д. т. н., проф., Нижний
Новгород
Н. Н. Потраков, д. т. н., проф., СПб.
А. В. Соломонов, д. ф.-м. н., проф., СПб.
Р. М. Степанов, д. т. н., проф., СПб.
С. А. Тарасов, д. т. н., доц., СПб.
В. Н. Ушаков, д. т. н., проф., СПб.
И. Б. Федоров, академик РАН, д. т. н., проф., М.
Ю. В. Филатов, д. т. н., проф., СПб.
Д. В. Холодняк, д. т. н., проф., СПб.
В. А. Шевцов, д. т. н., проф., М.
З. М. Юлдашев, д. т. н., проф., СПб.

Научный редактор А. М. Мончак

Редакторы: Э. К. Долгатов, Н. В. Лукина, И. Г. Скачек, Е. И. Третьякова
Выпускающий редактор Э. К. Долгатов
Компьютерная верстка Е. С. Николаевой

Подписано в печать 20.12.18. Формат 60 × 84 1/8.

Бумага офсетная. Печать цифровая. Гарнитура «Times New Roman».

Уч.-изд. л. 16,9. Усл.-печ. л. 16,25. Тираж 300 экз. (1-й завод 1–150 экз.). Заказ 205.



IZVESTIYA VYSSHIKH UCHEBNYKH ZAVEDENII ROSSI

RADIOELEKTRONIKA

6

JOURNAL OF THE RUSSIAN UNIVERSITIES

RADIOELECTRONICS

2018

Founder:

Saint Petersburg
Electrotechnical
University "LETI"
(ETU "LETI")

Founded in 1998
Issued 6 times a year

Editorial address:

Saint Petersburg
Electrotechnical
University "LETI",
5, Prof. Popov Str.,
197376, St. Petersburg,
Russia
Tel.: +7 (812) 234-1013
e-mail: radioelectronic@yandex.ru
<http://re.eltech.ru>

The Journal is registered
by Federal Supervision Agency
for Information Technologies
and Communications
(PI No FS77-74297
of 09.11.2018)

Science Editor A. M. Monchak
Editors: E. K. Dolgatov, N. V. Lukina,
I. G. Skachek, E. I. Tretyakova
Publishing Editor E. K. Dolgatov
DTP Professional E. S. Nikolaeva

Konstantin E. Abbakumov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., ETU "LETI"
Vladimir V. Alekseev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., ETU "LETI"
Eugeny M. Antonuk, Dr. Sci. (Eng.), Prof., ETU "LETI"
Viktor M. Balashov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., "Radar-MMS"
Sergey A. Baruzdin, Dr. Sci. (Eng.), Prof., ETU "LETI"
Aleksandr V. Boronahin, Dr. Sci. (Eng.), Prof., ETU "LETI"
Igor B. Fedorov, Member of RAS, Dr. Sci. (Eng.), Prof., MTU
named after N. Bauman
Yury V. Filatov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., ETU "LETI"
Aleksandr A. Golovkov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., ETU "LETI"
Andrey D. Grigoryev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., ETU "LETI"
Valery P. Ipatov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., ETU "LETI"
Tagir A. Ismailov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., DSTU
Dmitry V. Kholodnyak, Dr. Sci. (Eng.), Prof., ETU "LETI"
Nikolay V. Lysenko, Dr. Sci. (Eng.), Prof., ETU "LETI"
Sergey B. Makarov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Institute of Physics,
Nanotechnology and Telecommunication SPbPU
Igor G. Mironenko, Dr. Sci. (Eng.), Prof., ETU "LETI"
Vyacheslav A. Moshnikov, Dr. Sci. in Mathematics and Physics, Prof.,
ETU "LETI"
Viktor A. Obukhovets, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Southern Federal University

Editor-in-Chief

Viktor N. Malyshев, Dr. Sci. (Eng.), Prof.,
Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI" (Russia)

Editorial Board

Matthias A. Hein, Prof. Dr. Rer. Nat. Habil., Technical University (Ilmenau, Germany)
Jochen Horstmann, Dr. rer. Nat., Helmholtz-Zentrum (Geesthacht, Germany)
Boris A. Kalinikos, Dr. Sci. in Mathematics and Physics, Saint Petersburg Electrotechnical
University "LETI" (Russia)
Erkki Lahdeanta, Prof. Dr., Technical University (Lappennranta, Finland)
Ferran Martin, Prof. Dr., Autonomous University (Barcelona, Spain)
Leonid A. Melnikov, Dr. Sc. in Mathematics and Physics, Prof., Yuri Gagarin State Technical
University of Saratov (Russia)
Andrey A. Monakov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., State University of Aerospace Instrumentation
(St. Petersburg, Russia)
Alexandr A. Potapov, Dr. Sci. in Mathematics and Physics, Institute of radio Engineering and
Electronics named after V. Kotelnikov, RAS (Moscow, Russia)
Nikita M. Ryskin, Dr. Sci. in Mathematics and Physics, Prof., Saratov Branch, Institute of
Radio Engineering and Electronics RAS (Saratov, Russia)
Piotr Samczynski, Prof. Dr., Warsaw University of Technology, Institute of Electronic
Systems (Warsaw, Poland)
Sergey V. Selishchev, Dr. Sci. in Mathematics and Physics, Prof., National Research
University of Electronic Technology (MIET) (Moscow, Russia)
Alla L. Tolstikhina, Dr. Sci. in Mathematics and Physics, Divisional Manager, Institute of
Crystallography named after A. Shubnikov, RAS (Moscow, Russia)
Vladislav A. Tsarev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Yuri Gagarin State Technical University
of Saratov (SSTU) (Russia)
Aleksey B. Ustinov, Dr. Sci. in Mathematics and Physics, Prof., Saint Petersburg
Electrotechnical University "LETI" (Russia)

Editorial Council

Head of Editorial Council Vladimir M. Kutuzov,
Dr. Sci. (Eng.), Prof., ETU "LETI"

Executive Secretary of Editorial Council Vladislav A. Meyev,
Cand. of Sci. (Eng.), Senior Research Scientist, ETU "LETI"

Boris A. Panchenko, Dr. Sci. (Eng.), Visiting Professor, Ural Federal
University
Valery A. Pakhotin, Dr. Sci. in Mathematics and Physics, Prof.,
Immanuel Kant Baltic Federal University
Anatoly D. Pluzhnikov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Nizhny Novgorod State
Technical University n.a. R.E. Alekseev
Nikolay N. Potrakhov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., ETU "LETI"
Alexandr V. Solomonov, Dr. Sci. in Mathematics and Physics, Prof.,
ETU "LETI"
Rudolf M. Stepanov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., NRI Electron
Sergey A. Tarasov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., ETU "LETI"
Vyacheslav A. Shevtsov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., MAI (National Research
University)
Viktor N. Ushakov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., ETU "LETI"
Vladimir I. Veremyev, Cand. of Sci. (Eng.), Scientific Research
Institute "Prognoz"
Aleksey G. Vostretsov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Novosibirsk State
Technical University
Zafar M. Yuldashev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., ETU "LETI"

On the resolution of the Higher Attestation Committee under the Russian Federation Ministry of Education
the Journal is included in the "List of Periodical and Scientific and Technical Publications Issued
in the Russian Federation where the Doctoral Theses Key Results shall be published"

СОДЕРЖАНИЕ

—◦ **Проектирование и технология радиоэлектронных средств**

Сысоев О. Ю., Соколов С. С., Тупик В. А.

Выбор рациональной процедуры трассировки по конструктивному критерию 5

—◦ **Электродинамика, микроволновая техника, антенны**

Головков А. А., Терентьева П. В., Журавлев А. Г., Шмырин М. С., Стенюков Н. С.

Широкополосная СВЧ-антенна Вивальди с возбуждением компланарной линией 13

Балландович С. В., Костиков Г. А., Любина Л. М., Сугак М. И.

Анализ характеристик кольцевой пеленгаторной антенной решетки..... 20

Шевченко М. Е., Малышев В. Н., Файзуллина Д. Н. Пеленгование источников

радиоизлучения в широкой полосе частот с использованием круговой антенной решетки..... 30

Семерня Р. Е., Чернышев С. Л., Виленский А. Р., Можаров Э. О. Разработка топологии

компактных квазиэллиптических полосовых микрополосковых фильтров 41

—◦ **Телевидение и обработка изображений**

Обухова Н. А., Мотыко А. А., Поздеев А. А.

Цифровая обработка эндоскопических изображений для систем поддержки врачебных решений 54

—◦ **Радиолокация и радионавигация**

Маругин А. С., Орлов В. К., Хазиахметова Р. Р.

Поиск широкополосного сигнала радионавигационной системы 66

Воробьев Е. Н., Веремьев В. И., Холодняк Д. В.

Распознавание винтомоторных летательных аппаратов в пассивной бистатической РЛС..... 75

—◦ **Приборы и системы измерения на основе акустических, оптических и радиоволн**

Аббакумов К. Е., Степаненко Н. В.

Распространение крутильных волн в двухслойной трубе с учетом контактной жесткости 91

—◦ **Метрология и информационно-измерительные приборы и системы**

Безкоровайный В. С., Яковенко В. В., Ливцов Ю. В.

Определение толщины упрочненного слоя металла магнитным методом 102

—◦ **Приборы медицинского назначения, контроля среды, веществ, материалов и изделий**

Аль-Гаили М. А., Калиниченко А. Н., Каид М. Р. Исследование влияния длины сигнала ЭЭГ

на точность классификации уровней анестезии..... 111

Григорьев Е. Б., Красичков А. С., Нифонтов Е. М. Оценка статистических характеристик

миографической помехи при многоканальной регистрации электрокардиосигнала..... 118

—◦ **Конференции и семинары**

VIII Всероссийская научно-техническая конференция "Электроника и микроэлектроника СВЧ" 126

Правила для авторов статей 127

CONTENTS

—o ***Engineering Design and Technologies of Radio Electronic Facilities***

Sysoev O. Yu., Sokolov S. S., Tupik V. A.

Choosing Rational Tracing Procedure by Constructive Criterion 5

—o ***Electrodynamics, Microwave Engineering, Antennas***

Golovkov A. A., Terenteva P. V., Zhuravlev A. G., Shmyrin M. S., Stenyukov N. S.

Broadband Microwave Vivaldi Antenna Using Coplanar Feed Line 13

Ballandovich S. V., Kostikov G. A., Liubina L. M., Sugak M. I.

Performance Analysis for Direction-Finding Circular Antenna Array 20

Shevchenko M. E., Malyshев V. N., Fayzullina D. N. Radio Source Direction Finding

in Wide Frequency Band Using Circular Antenna Array 30

Semernya R. E., Chernyshev S. L., Vilenskiy A. R., Mozharov E. O.

Design of Compact Bandpass Quasi-Elliptic Microstrip Filters 41

—o ***Television and Image Processing***

Obukhova N. A., Motyko A. A., Pozdeev A. A.

Endoscopic Images Digital Processing for Clinical Decision Support Systems 54

—o ***Radiolocation and Radio Navigation***

Marugin A. S., Orlov V. K., Khaziakhmetova R. R.

Radio Navigation System Broadband Signal Search 66

Vorobev E. N., Veremyev V. I., Kholodnyak D. V.

Recognition of Propeller-Driven Aircraft in a Passive Bistatic Radar 83

—o ***Measuring Systems and Instruments Based on Acoustic, Optical and Radio Waves***

Abbakumov K. E., Stepanenko N. V.

Torsional Wave Scattering in Two-Layer Pipe with Account for Contact Rigidity 91

—o ***Metrology, Information and Measuring Devices and Systems***

Bezkorovayniy V. S., Yakovenko V. V., Livtsov Yu. V.

Determination of Hardened Metal Layer Thickness Using Magnetic 102

—o ***Medical Devices, Environment, Substances, Material and Product Control Equipment***

Al-Ghaili M. A., Kalinichenko A. N., Qaid M. R. Investigation of EEG Signal Length Influence

on Accuracy of Anesthesia Levels Classification 111

Grigoriev E. B., Krasichkov A. S., Nifontov E. M. Evaluation of Electromyographic

Noise Statistical Characteristics in Multichannel ECG Recordings 118

Author's Guide 127