

# ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

## СЕРИЯ 1 СВЧ-ТЕХНИКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

---

Выпуск 1(528)

2016

Издается с 1950 г.

---

*Главный редактор*

**д.т.н. А.А. Борисов**

Редакционная коллегия:

к.т.н. **С.А. Зайцев** (*зам. главного редактора*),  
к.т.н. **С.В. Щербаков** (*зам. главного редактора*),  
к.т.н. **В.И. Бейль**, **Ю.А. Будзинский**, к.ф.-м.н. **А.В. Галдецкий**,  
**Б.Ф. Горбик**, д.т.н. **А.Д. Закурдаев**, к.т.н. **Н.П. Зубков**,  
д.т.н. **С.С. Зырин**, к.т.н. **А.С. Котов**,  
д.т.н. **П.В. Куприянов**, к.т.н. **В.Г. Лапин**,  
д.т.н. **М.И. Лопин**, д.т.н. **Н.А. Лябин**, **В.М. Малыщик**,  
д.т.н., профессор **П.П. Мальцев** (ИСВЧ ПЭ РАН), к.т.н. **П.М. Мелешкевич**,  
д.т.н., профессор **В.П. Мещанов** (ОАО «ЦНИИИА»),  
к.т.н. **А.Г. Михальченков** (МКУ «Дирекция Наукограда» г. Фрязино),  
д.т.н. **С.П. Морев** (ФГУП «НПП «Торий»), **О.А. Морозов** (ЗАО «НПП «Магратеп»),  
к.т.н. **В.Ю. Мякиньюков**, д.ф.-м.н. **А.И. Панас** (ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН),  
д.ф.-м.н. **А.Б. Пашковский**, к.ф.-м.н. **С.А. Плешанов**, **Е.Н. Покровский**,  
к.т.н. **О.В. Поливникова**, к.т.н. **А.В. Потапов**,  
д.т.н., профессор **Р.А. Силин**, д.т.н. **К.Г. Симонов**,  
**В.П. Стебунов** (*ответственный секретарь*),  
д.т.н. **М.М. Трифонов** (ЗАО «НПП «Исток-Система»),  
д.т.н., профессор **Н.Д. Урсуляк**

Решением Президиума Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации с 29 декабря 2015 г. научно-технический сборник «Электронная техника», серия 1 «СВЧ-техника», издаваемый АО «НПП «Исток» им. Шокина» с 1950 года, включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук»

---

© АО «НПП «Исток» им. Шокина», 2016 г.

# ELEKTRONNAYA TEKHNIKA

(Electronic Engineering)

SERIES 1

## SVCH-TEKHNIKA

(Microwave Engineering)

COLLECTION OF RESEARCH & TECHNICAL ARTICLES

---

Issue 1(528)

2016

Founded in 1950 r.

---

*Editor-in-chief*

D.T.Sc. **A.A. Borisov**

*Editorial staff:*

C.T.Sc. **S.A. Zaitsev** (deputy editor-in-chief),  
C.T.Sc. **S.V. Scherbakov** (deputy editor-in-chief),  
C.T.Sc. **V.I. Beyl'**, U.A. **Budzinsky**, C.Ph.M.Sc. **A.V. Galdetsky**,  
**B.F. Gorbik**, D.T.Sc. **A.D. Zakurdaev**, C.T.Sc. **N.P. Zubkov**,  
D.T.Sc. **S.S. Zyrin**, C.T.Sc. **A.S. Kotov**, D.T.Sc. **P.V. Kupriyanov**,  
C.T.Sc. **V.G. Lapin**, D.T.Sc. **M.I. Lopin**, D.T.Sc. **N.A. Lyabin**, **V.M. Malyschik**,  
D.T.Sc., professor **P.P. Maltsev** (IMWF SE RASc), C.T.Sc. **P.M. Meleshkevich**,  
D.T.Sc., professor **V.P. Meschanov** (JSC «TSNIIA»),  
C.T.Sc. **A.G. Mikhalchenkov** (MBD «Directorate of the Science Town» Fryazino),  
D.T.Sc. **S.P. Morev** (FSUE «RPC «Torij»), **O.A. Morozov** (JSC «RPC «Magraterp»),  
C.T.Sc. **V.U. Myakinkov**, D.Ph.M.Sc. **A.I. Panas** (IRE named after V.F. Kotelnikov RASc),  
D.Ph.M.Sc. **A.B. Pashkovsky**, C.Ph.M.Sc. **S.A. Pleshanov**, **E.N. Pokrovsky**,  
C.T.Sc. **O.V. Polivnikova**, C.T.Sc. **A.V. Potapov**, D.T.Sc., professor **R.A. Silin**,  
D.T.Sc. **K.G. Simonov**, **V.P. Stebunov** (executive secretary),  
D.T.Sc. **M.M. Trifonov** (JSC RPC «Istok-System»),  
D.T.Sc., professor **N.D. Ursulyak**

By the Resolution of the Presidium of the Higher Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation dated December 29, 2015 the scientific and technical collection «Elektronnaya Tekhnika», series 1 «SVCH-tekhnika» being published in JSC «RPC «Istok» named after Shokin» since 1950, has been included into the «List of reviewed scientific publications in which the principal scientific results for candidate's thesis and doctoral thesis must be published»

## СОДЕРЖАНИЕ

### Катоды и материалы

- Капустин В.И., Ли И.П., Петров В.С., Леденцова Н.Е., Турбина А.В.* – Электронная структура и физико-химические особенности оксидно-никелевых катодных материалов ..... 8
- Алехина В.И., Ермилов А.Н., Королев С.В., Королев Д.С., Шумилин А.П.* – Применение графита и композиций типа углерод-углерод в крупногабаритных катодах с эмитирующим покрытием из гексаборида лантана ..... 19

### Электривакуумные приборы

- Вашин С.А., Коретин Г.Ф., Климова Н.Н.* – Метод снижения токов утечки изоляторов отпаянных ЭВП ..... 23
- Мамонтов А.В., Перминов И.Г., Симонов К.В.* – Перспективы развития сверхмощного клистроостроения..... 31
- Мирошник П.С., Силин Р.А., Чепурных И.П., Зырин С.С., Симонов К.Г., Урсуляк Н.Д.* – Проектирование широкополосного герметизированного микрополоскового ввода энергии Ки-диапазона ..... 41
- Борисов А.А., Галдецкий А.В., Закурдаев А.Д., Новоселец В.И., Погорелова Э.В., Силин Р.А.* – О моделировании движения частиц в аксиально-симметричных фокусирующих системах электривакуумных приборов..... 45

### Радиоэлектронные устройства

- Геворкян В.М., Казанцев Ю.А.* – Анализ волноводного сумматора мощности СВЧ с помощью эквивалентных схем..... 51
- Семенов С.Н., Колмакова Н.Г., Меджитов Р.Д., Бушкин С.С.* – Широкополосная печатная антенна ..... 56

### Твердотельная электроника

- Борисов А.А., Зырин С.С., Лапин В.Г., Лукашин В.М., Маковецкая А.А., Новоселец В.И., Пашковский А.Б., Урсуляк Н.Д., Щербаков С.В., Журавлев К.С., Торопов А.И.* – Анализ малосигнальных СВЧ-характеристик DA-рHEMT..... 65
- Куликова И.В., Приступчик Н.К., Галдецкий А.В., Симонов К.Г., Новоселец В.И., Зырин С.С., Погорелова Э.В., Силин Р.А.* – Методика построения и расчета воздушной системы охлаждения специализированного СВЧ-блока ..... 70
- Маковецкая А.А., Манченко Л.В., Пашковский А.Б., Потапова Т.И., Чепурных И.П., Пчелин В.А., Новоселец В.И., Левашов С.В., Корчагин И.П., Трегубов В.Б., Силин Р.А., Уласюк В.Н., Симонов К.Г.* – Краевые эффекты в согласующих элементах из керамики с большой диэлектрической проницаемостью для мощных гибридных транзисторных усилителей..... 75

*Пристапчик Н.К., Куликова И.В., Галдецкий А.В., Симонов К.Г., Куприянов П.В., Погорелова Э.В., Уласюк В.Н., Зырин С.С.* – Моделирование тепловых режимов работы приемопередающего модуля малогабаритной активной фазированной антенной решетки ..... 86

*Далингер А.Г., Иовдальский В.А., Шацкий С.В., Новоселец В.И.* – Конструкция приемопередающего модуля АФАР СВЧ-диапазона ..... 95

### **Технология и материаловедение**

*Курочкин А.А.* – Исследование влияния режимов резания на характеристики глубоких отверстий малых диаметров в вязких материалах ..... 105

*Алексахин А.В., Гулидов Д.Н.* – Разработка автоматизированной системы выбора оптимального технологического процесса резки слитков полупроводниковых и диэлектрических материалов ..... 112

### **Квантовая электроника**

*Балыко И.А., Балыко А.К.* – Вывод формулы для спектральной плотности излучения без использования гипотезы о квантах ..... 118

## CONTENTS

### Cathodes and materials

- Kapustin V.I., Li I.P., Petrov V.S., Ledentsova N.E., Turbina A.V.* – Electronic structure and physical-chemical peculiarities of nickel oxide cathode materials ..... 8
- Alekhina V.I., Yermilov A.N., Korolev S.V., Korolev D.S., Shumilin A.P.* – The use of graphite and compounds of carbon-carbon type in large-size cathodes with emitting coating made of lanthanum hexaboride ..... 19

### Electrovacuum devices

- Vashin S.A., Korepin G.F., Klimova N.N.* – Method of lowering leakage current of insulators in sealed-off electrovacuum devices ..... 23
- Mamontov A.V., Perminov I.G., Simonov K.G.* – The prospects of developing super high power klystron building ..... 31
- Miroshnik P.S., Silin R.A., Chepurnykh I.P., Zyrin S.S., Simonov K.G., Ursulyak N.D.* – Designing a *Ku*-frequency wide-band hermetic microstrip power entry ..... 41
- Borisov A.A., Galdetsky A.V., Zakurdayev A.D., Novoselets V.I., Pogorelova E.V., Silin R.A.* – On simulation of particles motion in axial-symmetrical focusing systems of vacuum tubes ..... 45

### Radioelectronic devices

- Gevorkyan V.M., Kazantsev U.A.* – The analysis of a waveguide microwave power combiner using equivalent circuits..... 51
- Semenin S.N., Kolmakova N.G., Medgitov R.D., Bushkin S.S.* – Wideband printed antenna.... 56

### Solid-state electronics

- Borisov A.A., Zyrin S.S., Lapin V.G., Lukashin V.M., Makovetskaya A.A., Novoselets V.I., Pashkovsky A.B., Ursulyak N.D., Shcherbakov S.V., Zhuravlev K.S., Toropov A.I.* – Small-signal microwave performance of DA-pHEMT research..... 65
- Kulikova I.V., Pristupchik N.K., Galdetsky A.V., Simonov K.G., Novoselets V.I., Zyrin S.S., Pogorelova E.V., Silin R.A.* – Forced convection air cooling system for specialized microwave devices design technique ..... 70
- Makovetskaya A.A., Manchenko L.V., Pashkovsky A.B., Potapova T.I., Chepurnykh I.P., Pchelina V.A., Novoselets V.I., Levashov S.V., Korchagin I.P., Tregubov V.B., Silin R.A., Ulasjuk V.N., Simonov K.G.* – Boundary effects in high dielectric constant matching networks for hybrid power FET amplifier ..... 75
- Pristupchik N.K., Kulikova I.V., Galdetsky A.V., Simonov K.G., Kupriyanov P.V., Pogorelova E.V., Ulasjuk V.N., Zyrin S.S.* – Compact active phased array transmitting-receiving module operational thermal regimes simulation ..... 86

*Dalinger A.G., Iovdalsky V.A., Shatsky S.V., Novoselets V.I.* – The design of a microwave active phased array receiver-transmitter module..... 95

**Technology and material science**

*Kurochkin A.A.* – The investigation of the cutting mode influence on characteristics of deep holes with small diameters in ductile materials..... 105

*Alexakhin A.V., Goolidov D.N.* – The development of automated system for choosing the optimal technological process for cutting ingots of semiconductor and dielectric materials..... 112

**Quantum electronics**

*Balyko I.A., Balyko A.K.* – The derivation of formula for spectral radiation density without using hypothesis about quanta ..... 118

УДК 537.533; 621.3.038.624

## ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОКСИДНО-НИКЕЛЕВЫХ КАТОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. И. Капустин, И. П. Ли, В. С. Петров, Н. Е. Леденцова, А. В. Турбина

*ОАО «Плутон», г. Москва*

Методами электронной спектроскопии исследована электронная структура оксидно-никелевых катодных материалов. Установлено, что диспергированный никель катализирует процессы разложения карбонатов щелочно-земельных металлов при термообработке катодов и влияет на работу выхода катодного материала через образование дополнительных электронных поверхностных состояний, которые формируются атомами никеля, растворенными в оксиде бария.

*КС: термоэлектронная эмиссия, оксидный катод, оксидно-никелевый катод, электронная спектроскопия, электронная структура оксидов*

## ELECTRONIC STRUCTURE AND PHYSICAL-CHEMICAL PECULIARITIES OF NICKEL OXIDE CATHODE MATERIALS

V. I. Kapustin, I. P. Li, V. S. Petrov, N. E. Ledentsova, A. V. Turbina

*JSC "Pluton", Moscow*

The electronic structure of nickel oxide cathode materials has been investigated by methods of electron spectroscopy. It was determined that dispersed nickel catalyzes the processes of decomposition of alkali earth metal carbonates at cathodes thermal processing and influences the cathode material work function by way of creating additional electron surface states which are formed by nickel atoms, dissolved in barium oxide.

*Keywords: thermionic emission, oxide cathode, nickel oxide cathode, electron spectroscopy, oxide electronic structure*

УДК 546.26:621.385.7

## ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФИТА И КОМПОЗИЦИЙ ТИПА УГЛЕРОД-УГЛЕРОД В КРУПНОГАБАРИТНЫХ КАТОДАХ С ЭМИТИРУЮЩИМ ПОКРЫТИЕМ ИЗ ГЕКСАБОРИДА ЛАНТАНА

В. И. Алёхина, А. Н. Ермилов, С. В. Королев, Д. С. Королев, А. П. Шумилин

*ФГУП ВЭИ им. Ленина, г. Москва*

Решена проблема создания термо-и формоустойчивых катодно-подогревательных узлов с эмиттерами из гексаборида лантана большой площади и сроком службы порядка 200 ч

*КС: графит, композиции типа углерод-углерод, крупногабаритный катод, эмитирующее покрытие, гексаборид лантана*

# THE USE OF GRAPHITE AND COMPOUNDS OF CARBON-CARBON TYPE IN LARGE-SIZE CATHODES WITH EMITTING COATING MADE OF LANTHANUM HEXABORIDE

V. I. Alekhina, A. N. Yermilov, S. V. Korolev, D. S. Korolev, A. P. Shumilin

*FSUE – All-Russian electrotechnical Institute named after Lenin, Moscow*

The problem of creating heat and form stable cathode-heating assembly with emitters made of lanthanum hexaboride having a large area and life time of the order of 200 hours has been solved.

*Keywords: graphite, compounds of carbon-carbon type, large-size cathode, emitting coating, lanthanum hexaboride*

УДК 537.521.1

## МЕТОД СНИЖЕНИЯ ТОКОВ УТЕЧКИ ИЗОЛЯТОРОВ ОТПАЯННЫХ ЭВП

S. A. Vashin, G. F. Korepin, N. N. Klimova

*АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино*

Показан способ определения токов утечки, возникающих в результате образования проводящей пленки на поверхности высоковольтного изолятора внутри вакуумной оболочки ЭВП, за счет отличия характера проводимости пленки от проводимости, образованной неоднородностями электродов. Разработан метод снижения этих токов в приборах типа ЛБВ на промежутке управляющий электрод – анод за счет испарения пленки при пропускании через нее тока от высоковольтного источника, применения искрового течеискателя и тренировки дозированными пробоями.

*КС: отпаянный ЭВП, проводящая пленка, утечка, высоковольтная тренировка*

## METHOD OF LOWERING LEAKAGE CURRENT OF INSULATORS IN SEALED-OFF ELECTROVACUUM DEVICES

S. A. Vashin, G. F. Korepin, N. N. Klimova

*JSC “RPC “Istok” named after Shokin, Fryazino*

A method for defining leakage currents appearing as a result of forming a conducting film on the surface of a high voltage insulator inside vacuum envelope of electrovacuum device due to difference in nature of film conductance and conductance formed by electrode heterogeneities, is presented. A method to lower these currents in TWT-type devices within control electrode – anode distance due to film evaporation as a result of current transmission from a high-voltage source through it, application of a spark leak detector and training by dosed disruptions was developed.

*Keywords: sealed-off electrovacuum device, conducting film, leakage, high-voltage training*



**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ  
СВЕРХМОЩНОГО КЛИСТРОНОСТРОЕНИЯ**

**А. В. Мамонтов, И. Г. Перминов, К. Г. Симонов**

*АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино*

Рассмотрены возможные пути создания сверхмощных импульсных клистронов при существенно пониженных рабочих напряжениях. Принципы создания однолучевых и многолучевых клистронов с магнетронной пушкой и анодной модуляцией и многолучевых клистронов с модуляцией по управляющему электроду являются новыми, оригинальными, не имеющими аналогов в мире.

*КС: сверхмощный импульсный клистрон, перспективы развития, многолучевой клистрон, магнетронная пушка с анодной модуляцией, рабочее напряжение*

**THE PROSPECTS OF DEVELOPING  
SUPER HIGH POWER KLYSTRON BUILDING**

**A. V. Mamontov, I. G. Perminov, K. G. Simonov**

*JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino*

Possible ways of creating super high power pulsed klystrons at significantly decreased operating voltages have been considered. The principles of creating single-beam and multiple-beam klystrons with a magnetron gun and anode modulation, and multiple-beam klystrons with control electrode modulation are new and original ones, having no analogues in the world.

*Keywords: super high pulsed klystron, prospects of development, multiple-beam klystron, magnetron gun with anode modulation, operating voltage*

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОГО  
ГЕРМЕТИЗИРОВАННОГО МИКРОПОЛОСКОВОГО ВВОДА ЭНЕРГИИ  
Ки-ДИАПАЗОНА**

**П. С. Мирошник, Р. А. Силин, И. П. Чепурных,  
С. С. Зырин, К. Г. Симонов, Н. Д. Урсуляк**

*АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино*

Представлены результаты проектирования герметизированного микрополоскового ввода энергии Ки-диапазона. В диапазоне частот до 20 ГГц гермоввод имеет КСВН менее 1,4. В полосе до 3 ГГц эта величина простой подстройкой может быть снижена до 1,2.

*КС: герметизированный микрополосковый ввод энергии, Ки-диапазон длин волн*

## DESIGNING A *Ku*-FREQUENCY WIDE-BAND HERMETIC MICROSTRIP POWER ENTRY

P. S. Miroshnik, P. A. Silin, I. P. Chepurnykh,  
S. S. Zyrin, K. G. Simonov, N. D. Ursulyak  
*JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino*

The result of *Ku*-frequency band hermetic microstrip power entry design is shown. At frequency less than 20 GHz microstrip power entry demonstrates VSWR less than 1.4. At frequency band less than 3 GHz this value can be reduced to 1.2 by simple tuning.

*Keywords: hermetic microwave power entry, Ku-frequency band*

УДК 621.385

## О МОДЕЛИРОВАНИИ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ В АКСИАЛЬНО-СИММЕТРИЧНЫХ ФОКУСИРУЮЩИХ СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ

А. А. Борисов, А. В. Галдецкий, А. Д. Закурдаев, В. И. Новоселец,  
Э. В. Погорелова, Р. А. Силин

*АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино*

Предложена новая система цилиндрических координат, позволяющая исключить искусственные сингулярности из уравнений движения частиц и существенно уменьшить время моделирования аксиально-симметричных электронно-оптических систем.

*КС: аксиально-симметричная система, фокусировка, МПФС, моделирование, теорема Буша, электронная оптика*

## ON SIMULATION OF PARTICLES MOTION IN AXIAL-SYMMETRICAL FOCUSING SYSTEMS OF VACUUM TUBES

A. A. Borisov, A. V. Galdetsky, A. D. Zakurdayev, V. I. Novoselets,  
E. V. Pogorelova, R. A. Silin

*JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino*

New cylindrical coordinates are proposed which make it possible to exclude artificial singularities existing in conventional cylindrical coordinate system and significantly decrease simulation time of axial-symmetric electron-optics system.

*Keywords: axial-symmetric system, focusing, magnetic periodic focusing system (MPFS), simulation, Bush's theorem, electron-optics*

## АНАЛИЗ ВОЛНОВОДНОГО СУММАТОРА МОЩНОСТИ СВЧ С ПОМОЩЬЮ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ СХЕМ

**В. М. Геворкян, Ю. А. Казанцев**

*Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва*

Получены формулы для элементов эквивалентной схемы волноводного СВЧ-сумматора мощности. Рассмотрен способ согласования входов сумматора при условиях их развязки и минимальных потерях суммирования. С помощью компьютерного моделирования рассчитаны элементы  $S$ -матрицы согласованного сумматора мощности.

*КС: волноводный СВЧ-сумматор мощности, эквивалентная схема, согласование и развязка*

## THE ANALYSIS OF A WAVEGUIDE MICROWAVE POWER COMBINER USING EQUIVALENT CIRCUITS

**V. M. Gevorkyan, U. A. Kazantsev**

*National Research University «MEI», Moscow*

The formulae for the elements of equivalent circuit of the waveguide microwave power combiner were obtained. Method of matching the combiner inputs subject to their decoupling and minimal loss of summation was reviewed. The elements of  $S$ -matrix of the matched power combiner were calculated with computer simulation.

*Keywords: waveguide microwave power combiner, equivalent circuit, matching and decoupling*

## ШИРОКОПОЛОСНАЯ ПЕЧАТНАЯ АНТЕННА

**С. Н. Семенин, Н. Г. Колмакова, Р. Д. Меджитов**

*ООО «НИИ радиолокации и связи», г. Москва, Зеленоград*

**С. С. Бушкин**

*АО «НИИП имени В.В. Тихомирова, г. Жуковский*

Представлены результаты разработки широкополосной печатной антенны для диапазона 8...12 ГГц с полосой пропускания более 45 %. В качестве основы для такой антенны выбран излучающий элемент печатной широкополосной антенны. При этом для создания однонаправленного излучения эта антенна помещается над проводящей плоскостью. Данная антенна может использоваться как элемент фазированной антенной решетки в широкополосной радиолокации.

*КС: антенна, печатная антенна, широкополосная антенна*

## WIDEBAND PRINTED ANTENNA

**S. N. Semenin, N. G. Kolmakova, R. D. Medgitov**

*JSC «NII of radiolocation and communications», Moscow, Zelenograd*

**S. S. Bushkin**

*JSC «NIIP named after Tikhomirov», Zhukovsky*

The results of the development of wideband printed antenna for 8...12 GHz are presented. Printed UWB planar antenna is a basis for creating 45 % wideband small size antenna. A feature of this configuration is the use of short-segment rectangular waveguide as an integral part of the antenna. This antenna can be used as an element of phased antenna array for wide band radar application.

*Keywords: antenna, printed antenna, wideband antenna*

УДК.621.382.333

## АНАЛИЗ МАЛОСИГНАЛЬНЫХ СВЧ-ХАРАКТЕРИСТИК DA-pHEMT

**А. А. Борисов, С. С. Зырин, В. Г. Лапин, В. М. Лукашин, А. А. Маковецкая,  
В. И. Новоселец, А. Б. Пашковский, Н. Д. Урсуляк, С. В. Щербаков**

*АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино*

**К. С. Журавлев, А. И. Торопов**

*Институт физики полупроводников, Сибирское отделение Российской Академии наук,  
г. Новосибирск*

Представлены результаты исследований малосигнальных СВЧ-характеристик мощных полевых транзисторов на гетероструктурах с донорно-акцепторным легированием. Транзисторы продемонстрировали непосредственно измеренный малосигнальный коэффициент усиления около 16 дБ на частоте 15 ГГц. Проведена оценка перспектив применения данного типа приборов в миллиметровом диапазоне длин волн.

*КС: гетероструктура, донорно-акцепторное легирование, мощные полевые транзисторы, малосигнальные СВЧ-характеристики*

## SMALL-SIGNAL MICROWAVE PERFORMANCE OF DA-pHEMT RESEARCH

**A. A. Borisov, S. S. Zyrin, V. G. Lapin, V. M. Lukashin, A. A. Makovetskaya,  
V. I. Novoselets, A. B. Pashkovsky, N. D. Ursulyak, S. V. Shcherbakov**

*JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino*

**K. S. Zhuravlev, A. I. Toropov**

*Institute for Semiconductor Physics SB RAS, Novosibirsk*

The research of donor-acceptor heterostructure power pHEMT small-signal (linear) microwave performance has been submitted. Maximum measured linear gain was about 16 dB at 15 GHz. The prospects of possible applications this type device in millimeter wavelength range are presented.

*Keywords: heterostructure, donor-acceptor doping, high power field-effect transistor, small-signal microwave performance*

## МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ И РАСЧЕТА ВОЗДУШНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО СВЧ-БЛОКА

И. В. Куликова, Н. К. Приступчик, А. В. Галдецкий,  
К. Г. Симонов, В. И. Новоселец, С. С. Зырин, Э. В. Погорелова, Р. А. Силин

*АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино*

Приведена методика расчета воздушной системы охлаждения специализированных СВЧ-блоков с использованием системы инженерного анализа, построенной на основе метода конечных элементов. Описаны основные этапы расчета, позволяющие получить оптимальный вариант системы охлаждения с учетом различных требований.

*КС: расчет системы охлаждения, тепломассоперенос, СВЧ-аппаратура, распределение температуры, воздушное охлаждение, вынужденная конвекция, расход воздуха*

## FORCED CONVECTION AIR COOLING SYSTEM FOR SPECIALIZED MICROWAVE DEVICES DESIGN TECHNIQUE

I. V. Kulikova, N. K. Pristupchik, A. V. Galdetsky,  
K. G. Simonov, V. I. Novoselets, S. S. Zyrin, E. V. Pogorelova, R. A. Silin

*JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino*

The paper is devoted to the specialized microwave devices forced convection air cooling system design technique. The presented technique is realized using computer aid engineering software based on finite element method. The basic stages of the system optimization process with variety of conditions and requirements are described.

*Keywords: electronics cooling system design, heat-and-mass transfer, microwave devices, temperature distribution, air cooling, forced convection, air consumption*

## КРАЕВЫЕ ЭФФЕКТЫ В СОГЛАСУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТАХ ИЗ КЕРАМИКИ С БОЛЬШОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ ДЛЯ МОЩНЫХ ГИБРИДНЫХ ТРАНЗИСТОРНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

А. А. Маковецкая, Л. В. Манченко, А. Б. Пашковский, Т. И. Потапова,  
И. П. Чепурных, В. А. Пчелин, В. И. Новоселец, С. В. Левашов, И. П. Корчагин,  
В. Б. Трегубов, Р. А. Силин, В. Н. Уласюк, К. Г. Симонов

*АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино*

Определены эквивалентные схемы, описывающие эффекты, которые связаны с близким расположением концов микрополосковых линий к краям подложки, имеющей большую диэлектрическую проницаемость ( $\epsilon = 80$ ). Показано, что эти эффекты могут оказывать заметное влияние на характеристики мощных гибридных транзисторных усилителей с согласующими цепями, выполненными на соответствующих подложках. Выявлено, что в зависимости от особенностей сборки этих плат в гибридном усилителе рабочая частота прибора может сдвигаться на 1,5 ГГц.

*КС: мощный транзисторный усилитель, высокая диэлектрическая проницаемость, краевые эффекты*

## BOUNDARY EFFECTS IN HIGH DIELECTRIC CONSTANT MATCHING NETWORKS FOR HYBRID POWER FET AMPLIFIER

A. A. Makovetskaya, L. V. Manchenko, A. B. Pashkovsky, T. I. Potapova,  
I. P. Chepurnykh, V. A. Pchelin, V. I. Novoselets, S. V. Levashov, I. P. Korchagin,  
V. B. Tregubov, R. A. Silin, V. N. Ulasyuk, K. G. Simonov

*JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino*

The correction data connected with boundary effects in high dielectric constant matching networks with fabrication peculiarities have been obtained. It is shown that fabrication peculiarities can shift amplifier working frequency by about 1,5 GHz and three times decrease working frequency band.

*Keywords: power FET amplifier, high dielectric constant, boundary effects*

УДК 621.396.6

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩЕГО МОДУЛЯ МАЛОГАБАРИТНОЙ АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Н. К. Приступчик, И. В. Куликова, А. В. Галдецкий,  
К. Г. Симонов, П. В. Куприянов, Э. В. Погорелова, В. Н. Уласюк, С. С. Зырин

*АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино*

Статья посвящена исследованию тепловых режимов работы приемопередающего модуля малогабаритной активной фазированной антенной решетки в системе инженерного анализа ANSYS Icepak. Приводятся описание конструкции устройства, а также результаты численного анализа тепловых режимов работы в условиях вынужденной конвекции. Выявлены основные факторы, обуславливающие перегрев теплонагруженных элементов модуля. Выработаны рекомендации по их устранению.

*КС: СВЧ-аппаратура, тепловой режим работы, вынужденная конвекция, метод конечных элементов, воздушное охлаждение, система инженерного анализа, ANSYS Icepak*

## COMPACT ACTIVE PHASED ARRAY TRANSMITTING-RECEIVING MODULE OPERATIONAL THERMAL REGIMES SIMULATION

N. K. Pristupchik, I. V. Kulikova, A. V. Galdetsky,  
K. G. Simonov, P. V. Kupriyanov, E. V. Pogorelova, V. N. Ulasyuk, S. S. Zyrin

*JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino*

The paper is devoted to the research of compact active phased array transmitting-receiving module operational thermal regimes with ANSYS Icepak CAE. The design of the device and numerical simulation results of the forced convection operational thermal regimes are presented. The main overheating factors for the power elements are revealed and recommendations directed to elimination of these factors are proposed.

*Keywords: microwave devices, thermal management, forced convection, finite-element method, air cooling, CAE software, ANSYS Icepak*

## КОНСТРУКЦИЯ ПРИЁМОПЕРЕДАЮЩЕГО МОДУЛЯ АФАР СВЧ-ДИАПАЗОНА

А. Г. Далингер, В. А. Иовдальский, С. В. Шацкий, В. И. Новоселец

*АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино*

Рассмотрены и проанализированы известные зарубежные и отечественные конструкции приёмопередающего модуля (ППМ) АФАР СВЧ-диапазона и выявлены их недостатки. Предложена современная конструкция ППМ АФАР, позволяющая значительно улучшить электрические и массогабаритные характеристики, а также повысить её надёжность и технологичность. Предложены пути дальнейшего совершенствования конструкции ГИС, реализация которых даст дополнительный положительный эффект.

*КС: гибридная интегральная схема, приёмопередающий модуль, активная фазированная антенная решётка, кристаллы монолитных интегральных схем, улучшение электрических и массогабаритных характеристик, повышение надёжности и технологичности, углубление, многослойная диэлектрическая плата*

## THE DESIGN OF A MICROWAVE ACTIVE PHASED ARRAY RECEIVER-TRANSMITTER MODULE

A. G. Dalinger, V. A. Iovdalsky, S. V. Shatsky, V. I. Novoselets

*JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino*

Well-known abroad and domestic designs of a microwave active phased array receiver-transmitter module (RTM) have been considered and analyzed, their deficiencies were revealed. An up-to-date design of active phased array RTM was proposed which will allow to improve significantly electrical and weight-dimensional characteristics as well as increase its reliability and manufacturability. The further ways of upgrading HIC design are proposed, their implementation will give additional positive effect.

*Keywords: hybrid integrated circuit, receiver-transmitter module, active phased array, monolithic integrated circuit chips, improvement of electric and weight-dimensional characteristics, reliability and manufacturability increase, recess, multilayer dielectric board*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ МАЛЫХ ДИАМЕТРОВ В ВЯЗКИХ МАТЕРИАЛАХ

А. А. Курочкин

*АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино*

Приведены результаты исследований влияния режимов резания на характеристики глубоких отверстий малых диаметров в вязких материалах. Описаны факторы, влияющие на увод отверстий, формирование стружки и поломку режущего инструмента. Разработана технология изготовления резонаторных блоков с привлечением современных методов и возможностей металлообработки.

*КС: сверление, глубокие отверстия малых диаметров, вязкие материалы, формирование стружки при сверлении, увод отверстия*

**THE INVESTIGATION OF THE CUTTING MODE INFLUENCE  
ON CHARACTERISTICS OF DEEP HOLES WITH SMALL DIAMETERS  
IN DUCTILE MATERIALS**

**A. A. Kurochkin**

*JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino*

The results of investigations of the cutting mode influence on characteristics of deep holes with small diameters in ductile materials are presented. The factors affecting the drill runoff, chipping and cutting tool failure were described. The technology of manufacturing resonator units involving up-to-date methods and possibilities of metal processing has been developed.

*Keywords: drilling, deep holes with small diameters, ductile materials, chipping at drilling, drill runoff*

УДК 621.922

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ  
ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА  
РЕЗКИ СЛИТКОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ  
И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

**А. В. Алексахин**

*ООО «Объединенные беспроводные технологии», г. Москва*

**Д. Н. Гулидов**

*Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,  
г. Москва, Зеленоград*

Проведен анализ особенностей и ограничений методов резки слитков алмазными кругами и проволокой. Описана последовательность операций по выбору оптимального технологического процесса разделения заготовок из твердых хрупких материалов на пластины.

*КС: автоматизированная система, резка слитков на пластины*

**THE DEVELOPMENT OF AUTOMATED SYSTEM  
FOR CHOOSING THE OPTIMAL TECHNOLOGICAL PROCESS  
FOR CUTTING INGOTS OF SEMICONDUCTOR  
AND DIELECTRIC MATERIALS**

**A. V. Alexakhin**

*JSC «United wireless technologies», Moscow*

**D. N. Goolidov**

*National Research University «MIET», Moscow, Zelenograd*

The analysis of peculiarities and restrictions of cutting ingots with diamond wheels and wire was performed. The sequence of operations on choosing the optimal technological process for cutting ingots from hard fragile materials into wafers has been described.

*Keywords: automated system, cutting ingots into wafers*



## **ВЫВОД ФОРМУЛЫ ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИПОТЕЗЫ О КВАНТАХ**

**И. А. Балыко, А. К. Балыко**

*АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино*

**В результате использования усеченного распределения Гиббса получены выражения для закона излучения абсолютно черного тела (формула Планка) без использования квантования энергии вещественных осцилляторов.**

*КС: излучение абсолютно черного тела, законы Кирхгофа, Вина, Рэлея-Джинса, Планка, квант энергии*

## **THE DERIVATION OF FORMULA FOR SPECTRAL RADIATION DENSITY WITHOUT USING HYPOTHESIS ABOUT QUANTA**

**I. A. Balyko, A. K. Balyko**

*JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino*

**As a result of using truncated Gibbs distribution, the expressions for the law of black body radiation (Planck formula) were obtained without using the energy quantization of real oscillators.**

*Keywords: black body radiation, Kirchhoff law, Wien law, Rayleigh-Jeans law, Planck law, energy quantum*